



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for naturforvaltning

Masteroppgave 2014
30 stp

Fleksibel, lønnsom og miljøvennlig nærvarme

- En analyse av sentralvarmeløsninger for
Gamlehagen borettslag

Carsten Høy

Forord

Denne studien markerer slutten av mine til sammen fem års studier av fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet på Ås. Analysen er skrevet våren 2014.

Jeg til takke min veileder Monica Havskjold for god hjelp og initiativ i perioden, samt for videreformidling av data. Videre fortjener familie og venner en stor takk for hjelp til korrekturlesing og kritiske og velrettede innspill. Avslutningsvis vil jeg rette en stor takk til min forlovede og min sønn for å ha gitt meg støtte, inspirasjon og motivasjon til å gjennomføre hele min universitetsutdanning.

Tusen takk til dere alle.

Enhver feil i denne studien er helt og fullt mitt eget ansvar.

Ås, 15. mai 2014

Carsten Høy

Sammendrag

Gamlehagen Borettslag på Lambertseter vurderer å bytte varmeløsning fra oljekjel til en fornybar energikilde. En rapport med et pristilbud er allerede hentet inn fra en aktør, og for å ha en bedre bakgrunn for sitt videre arbeid har borettslaget bedt om en studie fra NMBU som et supplement til denne rapporten.

Med utgangspunkt i borettslagets samlede energibehov utarbeides en forbruksprofil som danner grunnlaget for analysen av en referansesituasjon med dagens oljekjel opp mot teknologien presentert i pristilbudet. I tillegg er det vurdert et scenario med en akkumulatortank som varmelager.

For ytterligere belysning av temaet vurderes også en tenkt situasjon med en høyere energietterspørsel.

Studien viser avslutningsvis at løsningen foreslått i pristilbudet som foreligger virker gunstig, men anbefaler en økonomisk utredning av tilsvarende varmesentraler med noe lavere effekt før endelig avgjørelse tas.

Abstract

Gamlehagen Cooperative at Lambertseter outside Oslo, Norway, considers replacing its oil boiler heating system with a renewable energy source. A quotation has already been brought in. In order to have a better basis for its future work, the cooperative requested a study from NMBU as a supplement to this quotation.

Based on the housing cooperative's total energy demand, a consumption profile is prepared and forms the basis of the analysis of a reference situation with the current oil boiler compared to the technology presented in the quotation. In addition, a scenario with an accumulation tank for heat storage is also analyzed.

For further illumination of the subject, a theoretical scenario with a higher energy demand is also considered.

The study concludes that the solution proposed in the quotation seem advantageous, but recommends an economic study of a similar boiler with a somewhat lower effect before a final decision is made.

Innhold

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	4
Figurliste	7
Tabelliste	8
1. Introduksjon	9
1.1. Bakgrunn	9
1.2. Problemstilling	9
2. Litteratur / teori	10
3. Metodebruk	11
3.1. Tilnærming	11
3.2. Teknologier	11
3.3. Introduksjon til EnergyPRO	13
3.4. Modellinput og teknologi	15
3.4.1. Situasjon med nåværende energibehov	15
3.4.2. Teoretisk situasjon med høyere energibehov	21
3.4.3. Støtteordninger	23
4. Resultater	24
4.1. Situasjon med nåværende energibehov	24
4.1.1. Oljekjeler, eksisterende	24
4.1.2. Pellets og olje	26
4.1.3. Pellets, varmelager og olje	27
4.2. Teoretisk situasjon med høyere energibehov	28
4.2.1. Oljekjeler, eksisterende	28
4.2.2. Pellets og olje	30

4.2.3. Pellets, varmelager og olje.....	33
5. Diskusjon	38
5.1. Oljekjeler, eksisterende	38
5.1.1. Økonomi.....	38
5.1.2. Fleksibilitet	38
5.1.3. Miljø	38
5.2. Pellets og olje.....	38
5.2.1. Økonomi.....	38
5.2.2. Fleksibilitet	40
5.2.3. Miljø	40
5.3. Pellets, varmelager og olje	41
5.3.1. Økonomi.....	41
5.3.2. Fleksibilitet	42
5.3.3. Miljø	42
5.4. Andre forhold.....	43
6. Konklusjon	44
7. Referanser	45

Figurliste

Figur 1 Hafslund Varme AS' eksisterende fjernvarmenett, samt konsesjonsområde (Hafslund Varme AS, 2014).	12
Figur 2 Skjematisk visualisering av et eksempel på en EnergyPRO-modell	14
Figur 3 Interpolert temperatur i 1-timesintervaller for Lambertseter, 2013.	15
Figur 4 Beregnet forbruksprofil f.o.m 1. januar t.o.m. 31. desember 2013.	16
Figur 5 Varighetskurve for etterspørsel etter varme i perioden 1. januar - 31. desember 2013 .	17
Figur 6 Visualisering av oppsett for referansescenariet.	18
Figur 7 Visualisering av scenario med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast. .	19
Figur 8 Visualisering av scenario med pellets for varmeproduksjon til lager, samt oljekjel som reserve.....	20
Figur 9 Forbruksprofil for en tenkt situasjon med høyere energibehov.....	22
Figur 10 Varighetskurve for en tenkt situasjon med høyere energibehov.	23
Figur 11 Varighetskurve for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets som grunnlast og olje som spiss- reservelast.....	31
Figur 12 Varighetskurve for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.	34
Figur 13 Utsnitt av beregnet varmeproduksjon og endringer i lagerkapasitet for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast, vinter.....	35
Figur 14 Utsnitt av beregnet varmeproduksjon og endringer i lagerkapasitet for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast, sommer.....	36

Tabelliste

Tabell 1 Pris på pellets opplastet ved fabrikk eks. mva (øre/kWh) (NOBIO, 2012)	20
Tabell 2 Produksjonsberegning for referansescenario med varmeproduksjon kun fra olje.	24
Tabell 3 Utslippsberegning for referansescenario med varmeproduksjon kun fra olje.	24
Tabell 4 Beregnet månedlig kontantstrøm for referansescenariet med varmeleveranse kun fra olje.	25
Tabell 5 Beregnet månedlig energiproduksjon fra referanseåret med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.	26
Tabell 6 Beregnede månedlige inntekter og utgifter i referanseåret med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.	27
Tabell 7 Produksjonsberegning for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon kun fra olje.	28
Tabell 8 Utslippsberegning for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon kun fra olje.	28
Tabell 9 Beregnet månedlig kontantstrøm for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon kun fra olje.	29
Tabell 10 Produksjonsberegning for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.	30
Tabell 11 Beregnede utslipp for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.	31
Tabell 12 Beregnet kontantstrøm for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.	32
Tabell 13 Beregnet månedlig energiproduksjon for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.	33
Tabell 14 Beregnede utslipp for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.	36
Tabell 15 Beregnede månedlige inntekter og utgifter for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.	37

1. Introduksjon

1.1. Bakgrunn

Gamlehagen Borettslag ligger på Lambertseter utenfor Oslo og består av 354 andelsleiligheter, fordelt på 12 bygninger. Disse er plassert på begge sider av t-banen som går gjennom området. Borettslaget har to fyrrom med oljekjeler, ett på hver side av t-banen. Oljekjelene forsyner leiligheter og fellesarealer med varme, i tillegg leveres noe gatevarme herfra. Borettslaget ønsker nå innspill for å vurdere mulighetene for å konvertere til fornybar energi, og har allerede innhentet en rapport og et tilbud fra entreprenøren Boligenergi AS. For å få ytterligere innspill før en avgjørelse om gjennomføring av tiltak og valg av løsning har borettslaget kontaktet NMBU og bedt om en masteroppgave om temaet.

Med utgangspunkt i 2013 som et konkret referanseår og Boligenergi AS' rapport fra 2013 vil tre alternativer for varmeleveranse bli analysert:

- Dagens løsning med fyringsolje som referansescenario.
- En varmesentral med pellets som grunnlast og eksisterende oljekjeler som spisslast og reserve.
- En varmesentral med pellets som brensel. Denne brukes som grunnlast, i tillegg til en akkumulatortank for lagring av overskuddsvarme. Eksisterende oljekjeler beholdes som reserve.

1.2. Problemstilling

Hvilket av scenariene er best for Gamlehagen borettslag, med hensyn på lønnsomhet, fleksibilitet og miljø?

For å belyse situasjonen ytterligere, vil de tre alternativene også bli analysert for et tenkt år med samme forbruksprofil, dog med en høyere total etterspørsel etter varme.

Analysen er ment som et supplement til Boligenergi AS' rapport for å kunne danne et bedre grunnlag for Gamlehagen Borettslags videre arbeid i saken.

2. Litteratur / teori

Boligenergi AS' rapport av 22. november 2013 brukes som utgangspunkt for å hente flere nøkkeltall brukt i beregninger i denne studien. Rapporten er å anse som et reelt pristilbud, og både tall knyttet til energibehov, samt innkjøps-, drifts- og anleggskostnader er å anse som reelle og hentet herfra. I tillegg benyttes en del tilleggslitteratur, og datamodelleringsverktøyet EnergyPRO brukes for å utføre selve beregningene.

3. Metodebruk

3.1. Tilnærming

Gamlehagen Borettslag ligger på Lambertseter utenfor Oslo og består av 354 andelsleiligheter, som er fordelt på 12 bygninger. Bygningene er plassert på begge sider av t-banen i området. I dag varmes leilighetene opp av radiatorer fra et sentralfyringsanlegg, som i tillegg leverer varme til noe gateareal. Varmen leveres fra to fyrrom, ett på hver side av t-banen, og hvert rom har to oljekjeler. Ut fra fyrrommene ligger varmesløyfer, slik at hvert fyrrom forsyner boligene på sin respektive side av t-banen. Det er ikke utveksling av varme mellom fyrrommene og varmesløyfene. Leilighetene er i tillegg utstyrt med hver sin elektriske varmtvannsbereder for tappevann.

Boligenergi AS er «Energientreprenør for borettslag og sameier». De beskriver videre seg selv som «totalleverandør av smarte og kostnadseffektive energiløsninger i nye og eksisterende bygg.» (Boligenergi AS, 2014). I dag innfyres ca. 3300 MWh årlig til oppvarming. (Schjølberg, Martin; Boligenergi AS, 2013).

Alle beløp i denne rapporten er oppgitt eks. mva der ikke annet er spesifisert. Det antas at 2013 var et representativt år for temperatur og at prisene for øvrige innsatsmidler tatt med i denne analysen er representative.

For miljø vil fortrinnsvis teknologienes CO₂-utslipp bli vurdert, begrenset til utslipp knyttet til forbrenning. NO_x og det visuelle miljøet kommenteres noe. Andre faktorer, som transport og teknologiutvikling, holdes utenfor systemgrensene.

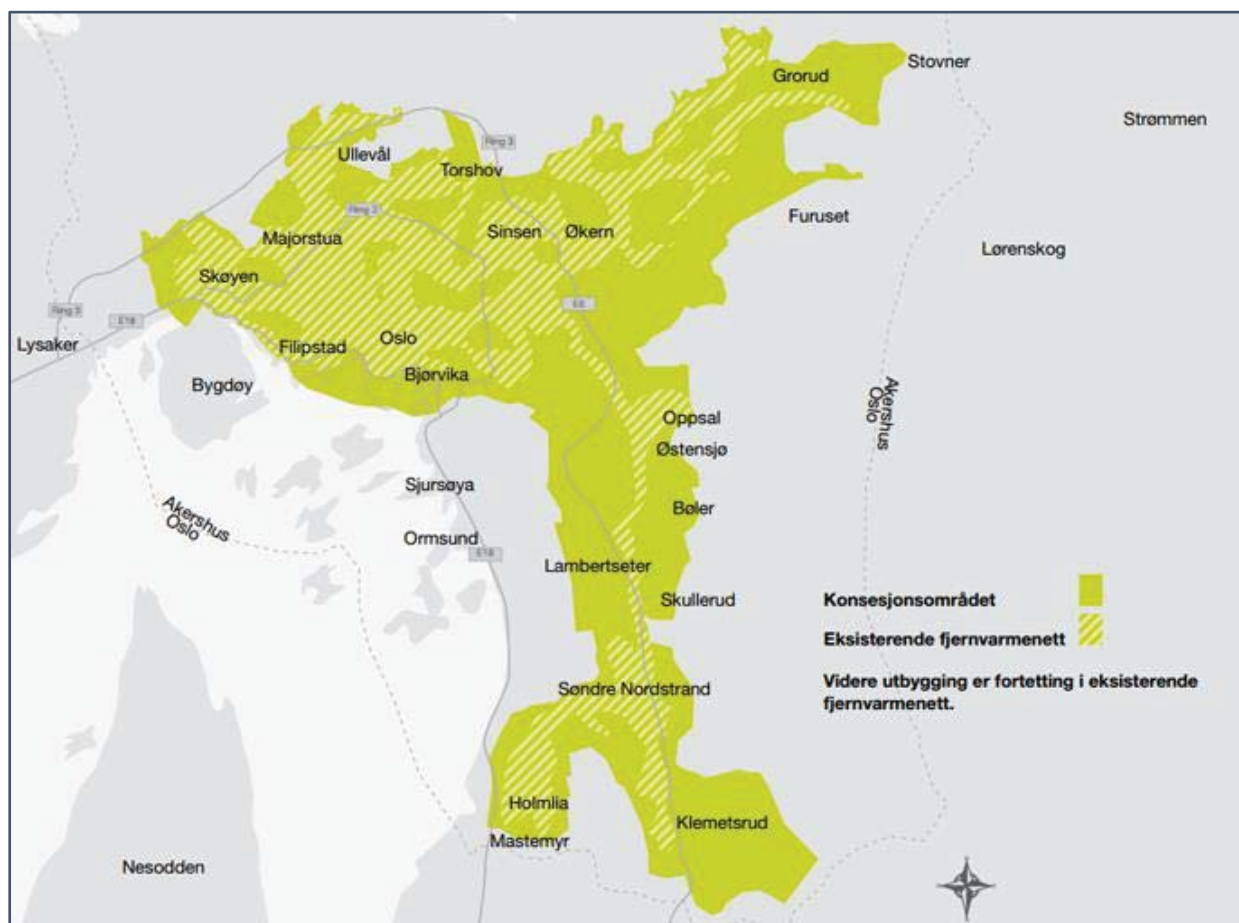
3.2. Teknologier

Hver enkelt bygning og leilighet har altså allerede en eksisterende infrastruktur med distribusjonsnett, varmesløyfer og radiatorer for boligoppvarming. Det er separat elektrisk oppvarming av tappevann. En endring av dette oppsettet, hvor også beboernes tappevann varmes helt eller delvis via borettslagets varmesentral(er) medfører en økning av varmebehovet og en endring i forbruksprofilen. Jeg forutsetter at en slik endring medfører en etterspørsel etter varme som er høyere enn det de eksisterende varmesløyfene er dimensjonert for. Dessuten vil dette innebære en løsning med nye varmevekslere for separat oppvarming av tappevannet. En oppgradering av varmesløyfene innebærer store bygningsmessige inngrep i og mellom samtlige bygninger og leiligheter. Det forutsettes her at en slik oppgradering ikke vil være økonomisk

forsvarlig, og jeg velger derfor å se bort fra dette alternativet. Boligenergi AS har også sett bort fra dette i sin rapport. (Schjølberg, Martin; Boligenergi AS, 2013).

Boligenergi AS har også valgt å se bort fra utgraving for plassering av pelletssiloer under bakkenivå, samt hulltaking i grunnmur på fyrrommene for å bytte ut eksisterende kjeler med nye. Dette begrunnes med at kostnadene forbundet med dette anses å være relativt høye (Schjølberg, Martin; Boligenergi AS, 2013). Av samme grunn ekskluderer også jeg dette fra min analyse.

Hafslund Varme AS sitt eksisterende fjernvarmenett passerer Lambertseter. De har også konsesjon for videre utbygging her (Figur 1). Imidlertid har de nå et hovedfokus på fortetting og tilkobling langs eksisterende nett fremfor videre utbygging (Hafslund AS, 2012). Fjernvarmenettet ligger på østsiden av E6 og er for langt unna borettslaget til at en tilkobling er aktuell innen overskuelig fremtid. Derfor er en slik tilkobling ikke en løsning som vil bli vurdert i denne studien.



Figur 1 Hafslund Varme AS' eksisterende fjernvarmenett, samt konsesjonsområde (Hafslund Varme AS, 2014).

Teknologiene som vil bli vurdert i denne rapporten er nærmere beskrevet i kapittel 3.4.1.2.

3.3. Introduksjon til EnergyPRO

Modelleringsverktøyet EnergyPRO er et dataprogram utviklet av danske EMD International A/S, heretter kalt EMD. Programmet er designet for å kunne gjennomføre en rekke teknologi-økonomiske analyser og optimaliseringer. Gjennom sitt svært brukervennlige grensesnitt tillater programmet et bredt spekter av input og beregninger av blant annet ulike teknologier, værdata, kostnader og inntekter. Jeg anser verktøyet til å være velegnet til den type analyser som skal gjennomføres.

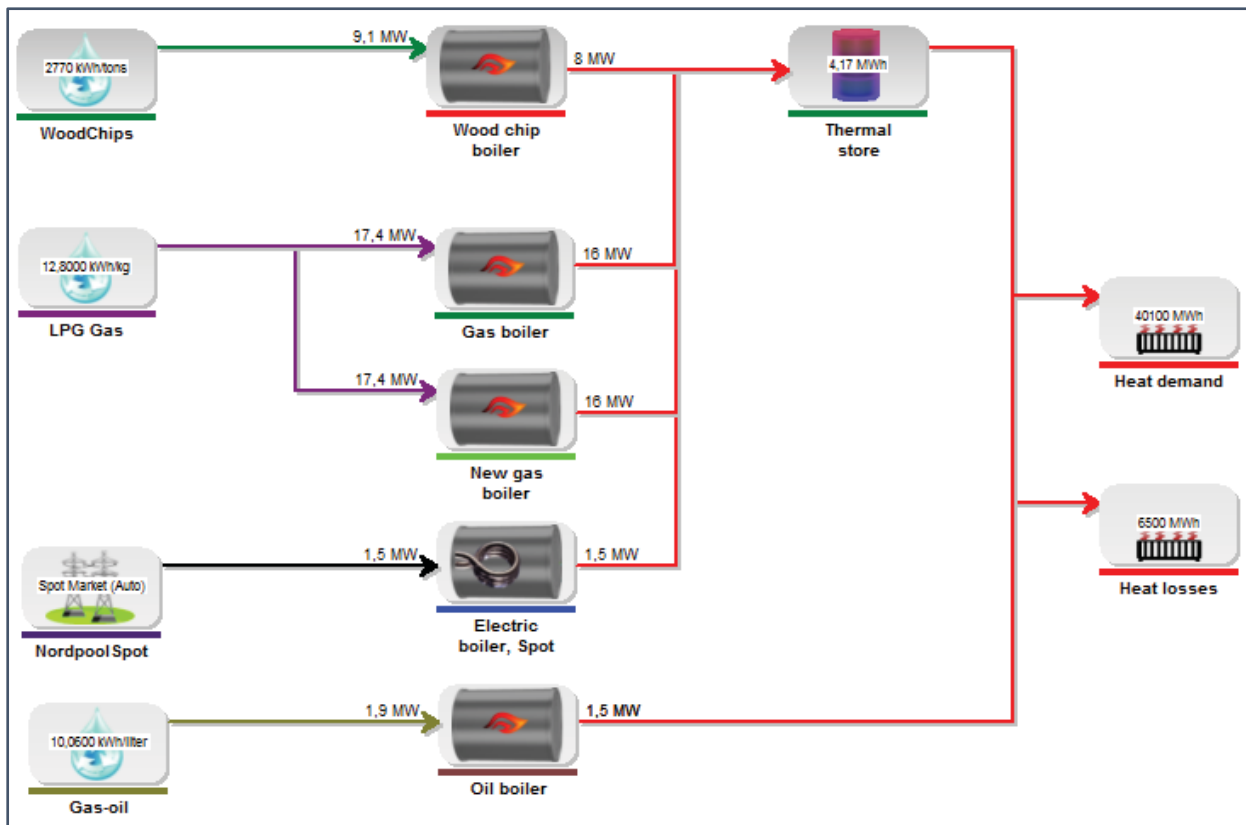
Ved utvikling av en modell i EnergyPRO har man mulighet til å velge mellom ulike operasjonsstrategier for scenariet som skal optimaliseres. Innebygget i programmet er en forhåndsdefinert strategi, men brukeren kan også utvikle sin egen og står da svært fritt til å velge strategi og prioriteringer. Den forhåndsdefinerte strategien går ut på å velge den mest kostnadseffektive løsningen og passer godt for dette prosjektet.

Tidsperioden man ønsker å modellere, er valgfri. EnergyPRO foreslår ett år som standard, men modellen kan både se på kortere perioder eller flere år om det er ønskelig. Oppløsningen i tidsdata kan justeres helt ned til sekundnivå. I dette prosjektet hentes temperaturdata og strømpriser som legges i modellen med timesoppløsning for et helt år. Det er da naturlig å velge det samme for modellen.

Data for ulike energibærere og varmesentraler legges inn i modellen, sammen med et energibehov og eksternaliteter. For hver teknologi kan et bredt spekter av data defineres: Kostnader for investering og brensel, lagerbegrensninger, effektkurver, rentesatser, nødvendige vedlikeholdsperioder, et minimum av operasjonstimer per oppstart med mer. Basert på sine beregnede marginale produksjonskostnader, tildeles de ulike produksjonsenhetene automatisk ulik plassering i prioriteringsrekkefølgen til modellen. Denne rekkefølgen kan også overstyres om ønskelig. Modellen gjør så kalkulasjoner for inntekter og utgifter for hver teknologi og søker å dekke den beregnede etterspørselen på mest mulig kostnadseffektiv måte, hensyntatt de begrensninger som er gitt.

I dette prosjektet brukes EnergyPRO til å beregne kostnader knyttet til tre ulike scenarier for varmeleveranse til Gamlehagen Borettslag. For å kunne sammenligne de ulike alternativene, tildeles hvert scenario en egen modell, alle basert på samme grunnmodell med de samme forutsetninger, bakgrunnsdata og –beregninger. Dette gjøres i to omganger, først for en situasjon

med nåværende energibehov og deretter for en teoretisk situasjon med et høyere energibehov. Denne metoden gir en løsning for hvert scenario, som så kan sammenlignes manuelt. Underveis tegner EnergyPRO opp et skjematisk bilde av modellen, som illustrert i Figur 2.



Figur 2 Skjematisk visualisering av et eksempel på en EnergyPRO-modell

Figur 2 er et tilfeldig valgt eksempel for en EnergyPRO-modell, og den viser energibærerne i systemet til venstre. Energistrømmen kan så følges til varmesentralene og videre til forbruker. Noen av teknologiene tillates også å produsere varme til et lager, mens oljekjelen nederst er definert som spisslast og skal ikke produsere mer varme enn nødvendig i den perioden den brukes. Energiforbruket vises her todelt, her dekkes både etterspørselen etter varme, men tap av energi er også definert og må også dekkes i modellen. Modellen regner på hvordan energibehovet skal dekkes på mest kostnadseffektive måte hver eneste time i perioden.

Ettersom hvert scenario belyst i denne studien tildeles sin egen modell. Samlet vil det brukes færre energibærere og færre typer varmesentraler. Derfor vil oppsettet være en del enklere enn illustrert i Figur 2, men prinsippet vil være det samme.

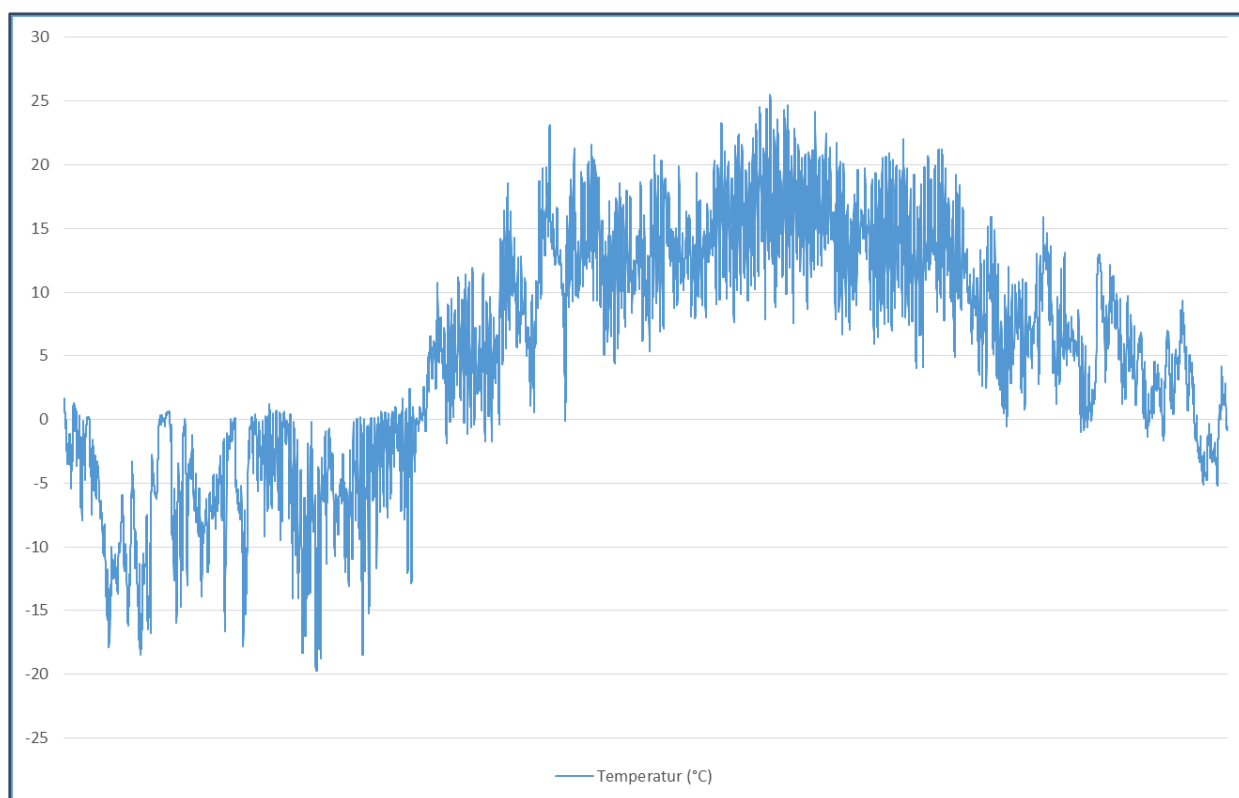
3.4. Modellinput og teknologi

3.4.1. Situasjon med nåværende energibehov

3.4.1.1. Varmebehov

I dag bruker borettslaget 3 300 MWh innfyrt til oppvarming av boliger, fellesarealer og noe gateareal. Tappevann varmes separat av elektriske varmtvannsberedere plassert i hver leilighet (Schjølberg, Martin; Boligenergi AS, 2013). Det skilles ikke mellom varmetap i det lokale distribusjonsnettet og faktisk energibehov i de oppvarmede arealene, derfor settes et fast årsbehov for oppvarming. Dette er definert i Boligenergi AS' rapport.

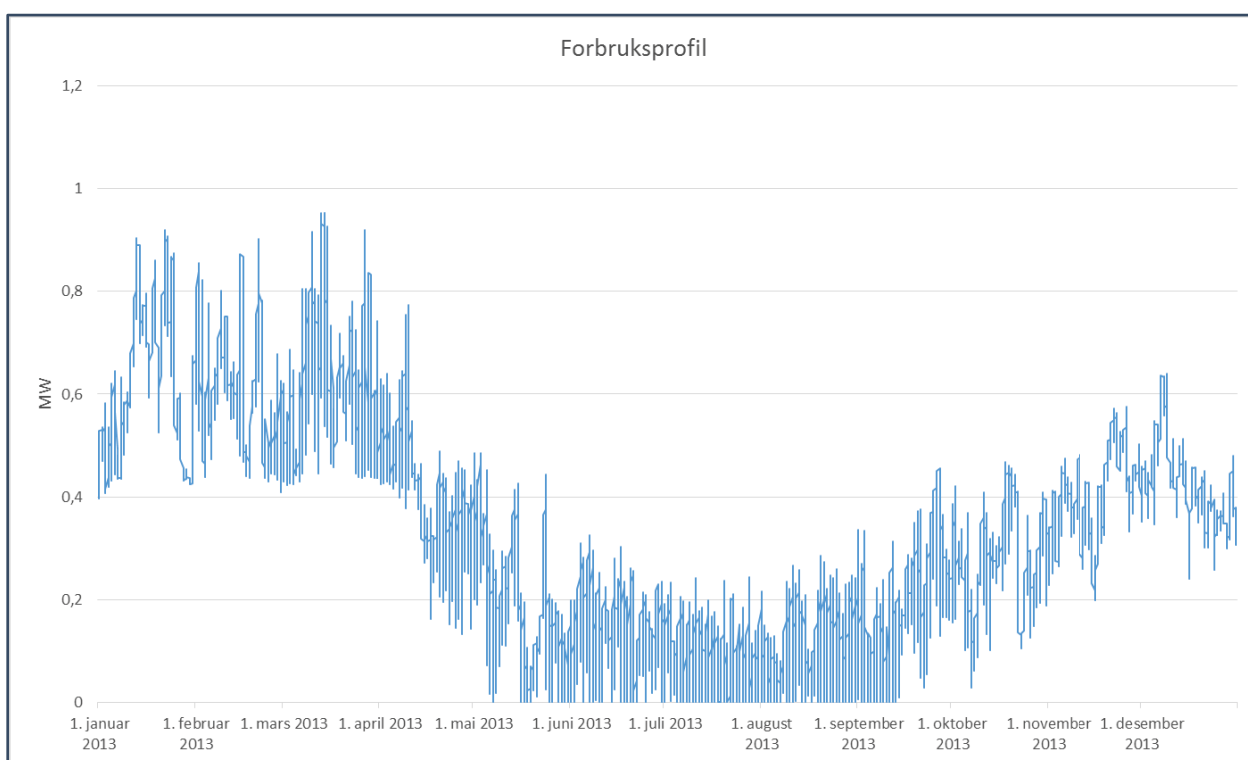
Borettslaget har ikke målt en egen forbruksprofil gjennom året, men da oppvarmingsbehovet kun er knyttet til oppvarming av arealer og ikke tappevann, kan en forbruksprofil antas gjennom beregninger mot temperatur. Gjennom EnergyPRO hentes CFSR2-temperaturdata¹ fra 2013, interpolert for punktet N 59°52'22,8, E 10°48'39,6 på Lambertseter (Figur 3).



Figur 3 Interpolert temperatur i 1-timesintervaller for Lambertseter, 2013.

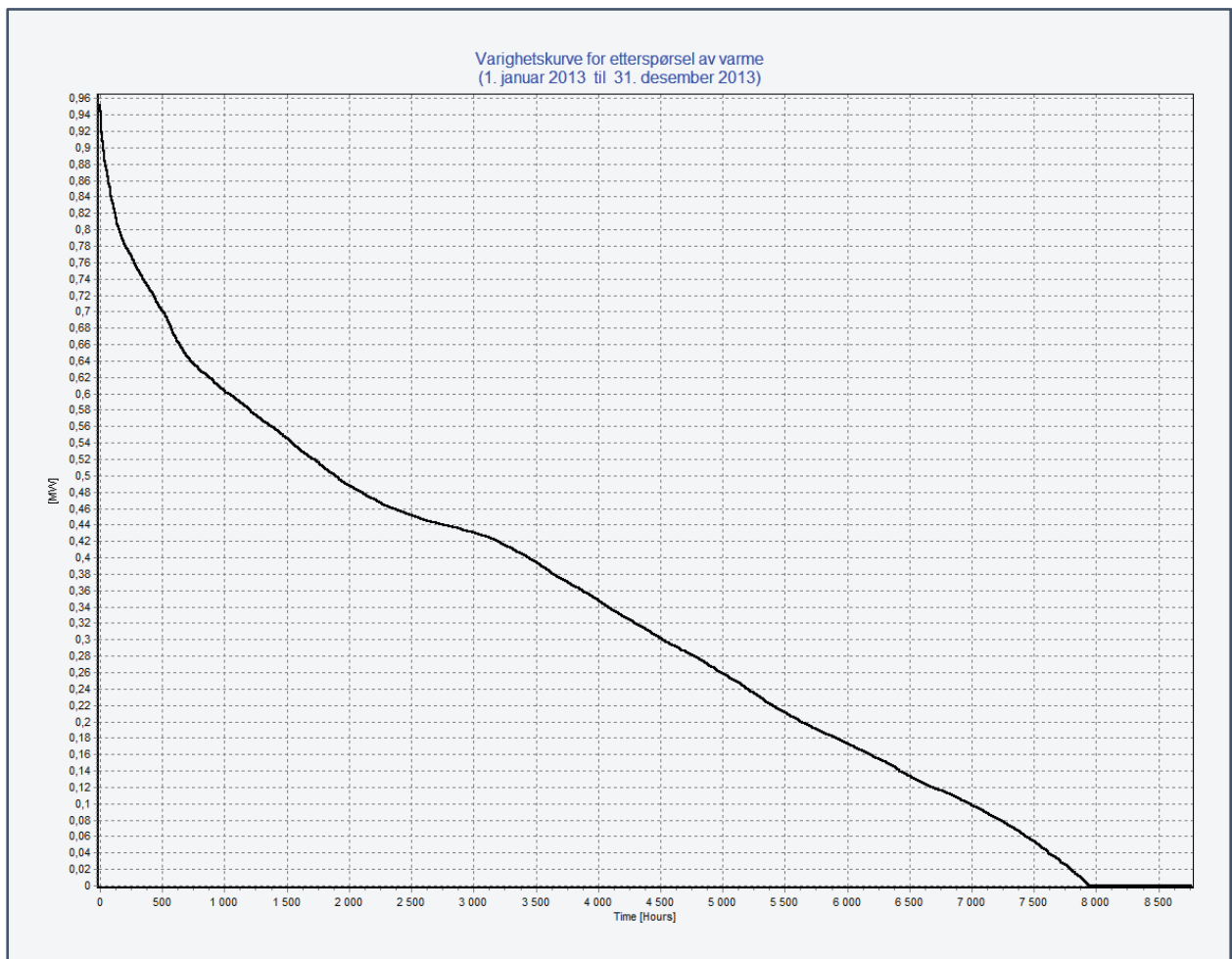
¹ The Climate Forecast System Reanalysis 2 (CFSR2) er en modell som henter og beregner værdata fra et globalt nettverk av målestasjoner. Data for temperatur oppgis i intervaller på 0,2°C for hver time. CFSR2 har vært tilgjengelig siden 2010 og er en oppgradering av modellen CFSR (1979 – 2010).

Det foreligger ikke effektkurver for oljefyren, men i tabell 4-15 i NVE-håndboka beregnes en gjennomsnittlig virkningsgrad for oljefyringsanlegg til å være 85 % (NVE, 2011). Denne verdien brukes som en flat faktor for hele effektregisteret til oljefyren i modellen. 3300 MWh innfyrt ved en virkningsgrad på 85 % gir en varmeleveranse ut av varmesentralene på 2805 MWh årlig. Ut fra en forutsetning om at leveransen tilfredsstiller den årlige etterspørselen etter varme, samt temperaturen som er presentert i Figur 3, kan EnergyPRO nå beregne en forbruksprofil for prosjektet. Ettersom varmeanlegget ikke forsyner tappevann gjøres forbruksprofilen 100 % temperaturavhengig, dog forutsettes det at varmebehovet er null når utelufttemperaturen er 17°C eller høyere (Figur 4).



Figur 4 Beregnet forbruksprofil f.o.m 1. januar t.o.m. 31. desember 2013.

Forbruksprofilen i Figur 4 gir varighetskurven vist i Figur 5:



Figur 5 Varighetskurve for etterspørsel etter varme i perioden 1. januar - 31. desember 2013

Figur 5 viser at systemet må dekke en etterspørsel etter varme i 7 942 av årets 8760 timer, med en maksimal etterspørsel på 0,96 MW.

Ikke i noen av timene er etterspørselen på over 1 MW. Et scenario med strengere vinterkulde vil medføre en større etterspørsel etter varme om vinteren. Der grunnlastleveransen er begrenset til 1 MW vil det være et tilleggsbehov for spisslast i timene med større etterspørsel enn varmesentralens kapasitet.

3.4.1.2. Energibærere, varmesentraler og priser

Olje og oljekjel

Referansescenariet med fyringsolje som eneste energibærer kan illustreres som vist i Figur 6:



Figur 6 Visualisering av oppsett for referansescenariet.

Fyringsolje anses som et høyverdig brensel, med en varmeverdi på ca. 10 kWh per liter (Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2011). Det er også et fossilt brensel, og å brenne fyringsolje på denne måten innebærer et utslipp av ca. 2,663 kg CO₂ og 2,5 gram NO_x per kWh (KLIF, 2014).

Borettslaget har fra før totalt fire oljekjeler som til sammen dekker etterspørselen etter varme på sine respektive sider av t-banen. Oljekjeler er kjent for å ha dårlig energiutnyttelse, da anlegget konstant går i av/på-drift under delast. Dette kan gi store varmetap gjennom pipa (NVE, 2011). Det foreligger ikke effektkurver for oljefyren, men i tabell 4-15 i NVE-håndboka beregnes en energikostnad for olje til 71,8 øre/kWh og en gjennomsnittlig virkningsgrad for oljefyringsanlegg til å være 85 % (NVE, 2011). Denne verdien brukes som en flat faktor for hele effektregisteret til oljefyren i modellen. Når virkningsgraden ikke påvirkes av lastnivået til oljefyren, kan de fire oljefyrene i modellen slås sammen til én, som er stor nok til å dekke hele borettslagets varmeetterspørsel. Maksimal etterspørsel beregnes i modellen til å være 0,96 MW. For å være sikker på at verdien brukt i modellen er stor nok, også for kalde år, tildeles oljekjelene til sammen 2 MW levert effekt ved en innfyring av 2,35 MW (85 % virkningsgrad).

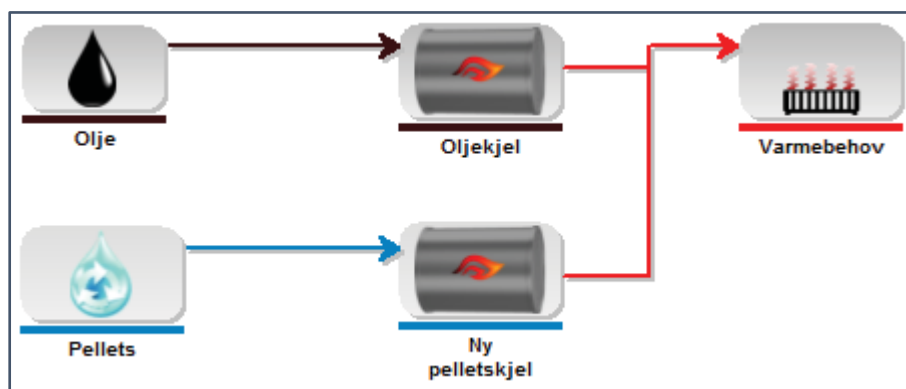
Kostnader knyttet til drift og vedlikehold av anlegget anslås til 100 000 kroner årlig, med bakgrunn i NVE-håndbokas tabell 4-15 (NVE, 2011).

Oljeprisen påvirkes av svært mange faktorer. Pris pr. 9.mai 2014 er på kr 9,38 per liter (Statoil, 2014). Dette tilsvarer 93,8 øre/kWh. Boligenergi AS bruker i sin rapport 66,6 øre, en pris hentet fra uke 46, 2013. Fra 1. januar 2014 økte mineraloljeavgiften med 52 øre per liter, og prisen på fyringsolje har holdt et nivå på mellom 9 og 10 kroner per liter så langt i 2014 (Statoil, 2014).

Selv om 2013 brukes som referanseår, har det altså fra 1.januar 2014 vært en varig endring i forutsetninger for prisen på fyringsolje. For en mest mulig realistisk modell benyttes tall med de siste forutsetningene. Derfor brukes en oljepris på 93,8 øre/kWh i modellen.

Pellets og pelletskjel

Scenariet med varmeleveranse fra pellets som grunnlast og fyringsolje som spiss- og reservelast kan vises som i Figur 7.



Figur 7 Visualisering av scenario med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.

Trepellets er høykonsentrert treverk. Rått tømmer kvernes til flis, som gjennomgår en tørkeprosess. Når flisa er ferdig tørket finmales den til et pulver, som så presses sammen under høyt mekanisk trykk til pellets.

I Norge brukes gjerne kortreist tømmer, i all hovedsak gran og furu. Pellets produsert av gran/furufiber har gjerne en volumtetthet på mellom 550 og 750 kg/m³ og har en varmeverdi som normalt ligger mellom 4,72 og 4,97 kWh/kg (DSB, 2014). I analysen vil jeg regne på både minimum volumtetthet med minimum varmeverdi og maksimal volumtetthet med maksimal varmeverdi. Det gir energiinnhold på henholdsvis 2596 og 3727,5 kWh/m³.

I motsetning til fyringsolje anses trepellets som CO₂-nøytralt. Karbonet som frigjøres i form av CO₂ ved forbrenning er bundet opp i treet ved fotosyntese i vekstperioden og er fra før en del av det naturlige kretsløpet.

Norsk Bioenergiforening, Nobio, skiller mellom tre ulike pakningsstørrelser for pellets: Småsekk, storsekk eller bulk (NOBIO, 2012). Bulkleveranse er en større leveranse med tankbil hos kunden med innblåsing til silo, noe som passer godt for dette prosjektet. En typisk størrelse for bulkbil med sug- og blåsetank er på 64 m³ (transportør Jørgensen AS, 2014). Pellets har hatt en varierende prisutvikling, her gjengitt i Tabell 1. Tabellen gjengir pris opplastet ved fabrikk.

Leveranse til stedet gir i tillegg en transportkostnad. Boligenergi AS opererer i sitt overslag med 35,1 øre/kWh eks. mva. for pellets levert på stedet (Boligenergi AS, 2014). Dette er et sannsynlig tall, som også brukes i analysene her.

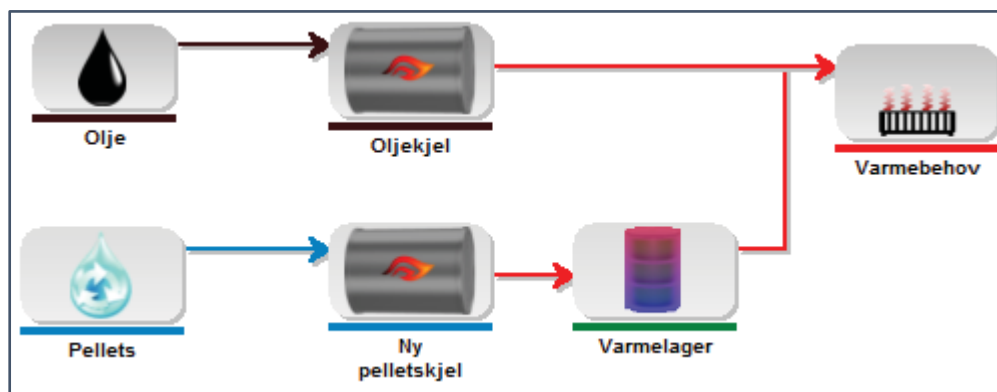
Tabell 1 Pris på pellets opplastet ved fabrikk eks. mva (øre/kWh) (NOBIO, 2012)

År	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
øre/kWh	27,4	30,2	31,6	31,1	33,9	36,1	30,1

I Boligenergi AS' rapport foreslås et 1000 kW pelletsfyringsanlegg med en 70 m³ silo, begge produsert og levert av danske LIN-KA Maskinfabrik A/S. LIN-KA har ingen dellast- eller effektkurver for fyringsanlegget (Larsen, 2014), men opererer i sitt datablad med en maksimal virkningsgrad på 93 % (LIN-KA AS, 2014). Det er verdt å merke seg at dette er maksimal virkningsgrad. Virkningsgraden for dellast må antas noe lavere. I NVE-håndboka, tabell 4-9 oppgis en virkninggrad på 90 % for pelletsfyringsanlegg på 1 MW (NVE, 2011). Dette er noe lavere enn LIN-KAs oppgitte maksimale virkningsgrad. Ettersom effektkurvene ikke foreligger, brukes 90 % som en flat virkningsgrad for alle laster ved beregningene.

Varmelager

Scenariet med varmeleveranse fra pellets som grunnlast og fyringsolje som spisslast kan skjematisk illustreres som vist i Figur 8.



Figur 8 Visualisering av scenario med pellets for varmeproduksjon til lager, samt oljekjel som reserve.

Et varmelager er en termisk isolert akkumuleringstank med vann som kan varmes opp og holde på varmen. Dette muliggjør en forsinkelse mellom produsert og forbrukt varmeenergi, og minsker avhengigheten av at produsert varme skal dekke den spontane etterspørselen til enhver tid. Varmeproduksjonen kan da foregå rundt nivå for designlast, slik at virkningsgraden i

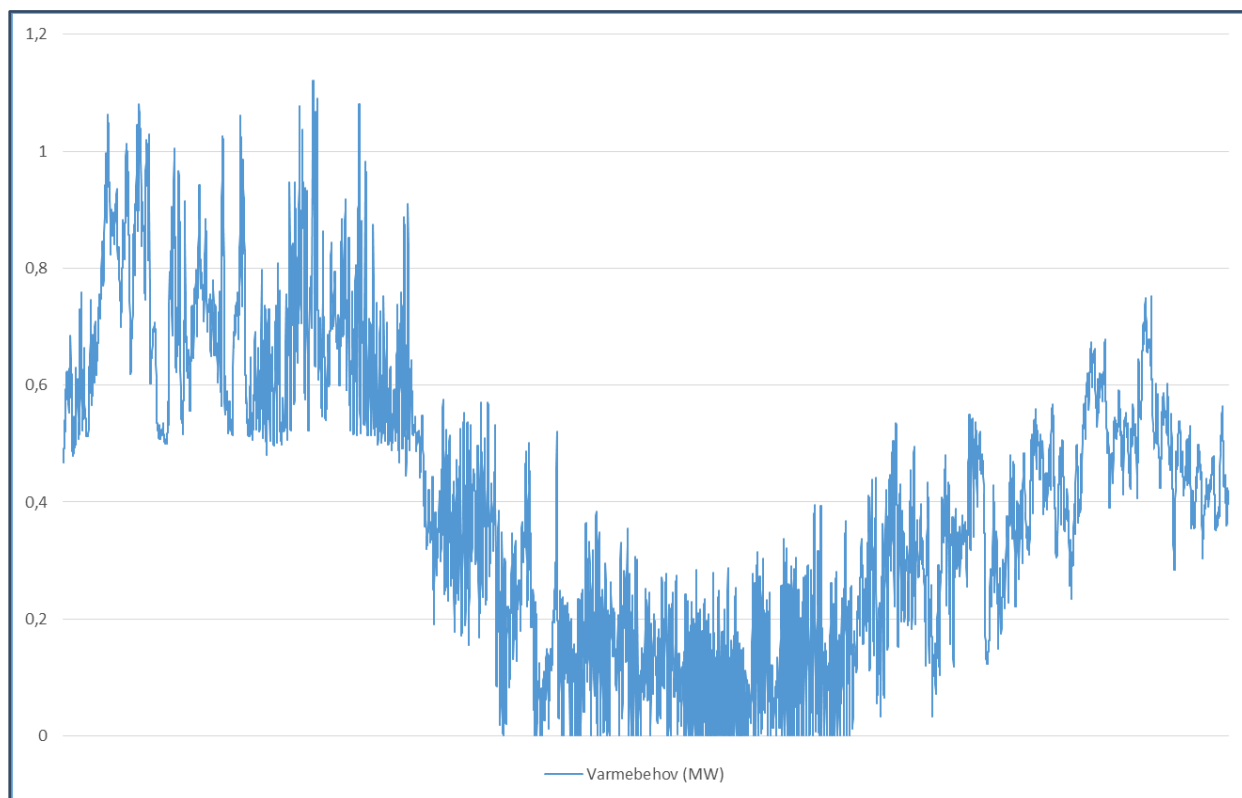
varmekjelen blir så høy som mulig. Overskuddsvarmen avsettes i varmelageret, som fungerer som en buffer (NVE, 2011).

I NVE-håndboka oppgis nøkkeltall for investeringskostnader for etablering av en lagertank. Tallene gjelder imidlertid lagertanker på 500 – 2000 m³, noe som er langt større enn hva som er nødvendig i dette prosjektet. I modellen brukes et varmelager på 30 m³. Dette gir en samlet varmekapasitet på rundt 1,25 MWh, om lag 25 % høyere enn maksimal beregnet etterspørsel i referanseåret. Generelle investeringskostnader for mindre tanker er vanskelig tilgjengelig, men en konklusjon kan trekkes også uten slike tall, se kapittel 5.3.1.

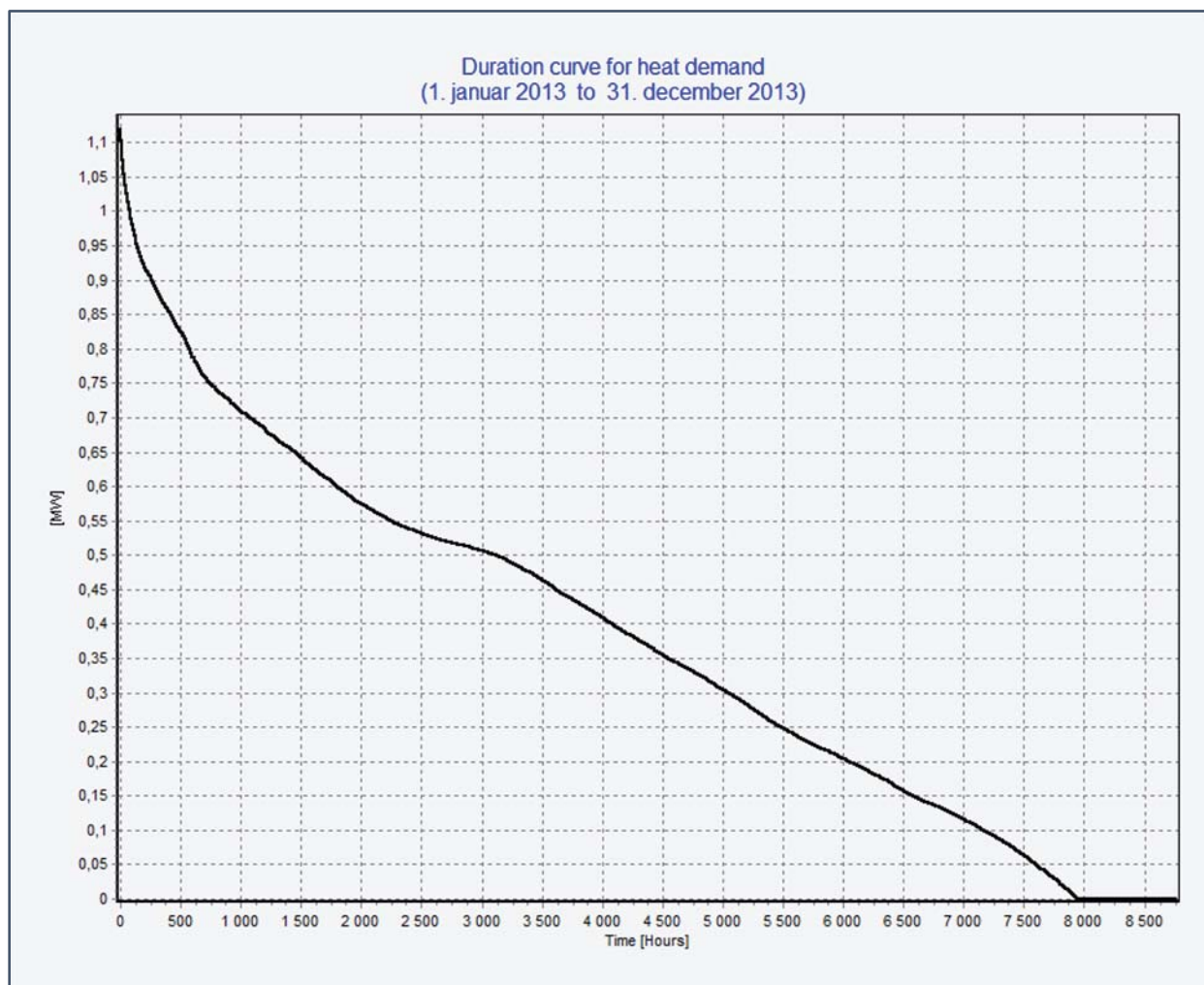
3.4.2. Teoretisk situasjon med høyere energibehov

I den nåværende situasjonen beskrevet i kapittel 3.3.1. er det regnet ut fra 3300 MWh *innfyr*t energi fra olje, og etter hensyntatt virkningsgrad 2805 MWh *levert* varmeenergi.

Som teoretisk situasjonen vurderes et tenkt år med en noe strengere vinter enn det som var i 2013. Det tas her utgangspunkt i et årlig energibehov på 3300 MWh *levert* varmeenergi til borettslaget ut fra teknologiene, noe som gir en forbruksprofil som vist i Figur 9, videre illustrert av varighetskurven i Figur 10. Figurene viser en etterspørsel på over 1 MW i 79 av årets timer. 1 MW er maksimal kapasitet på pelletsfyringsanlegget, så i denne tenkte situasjonen er det altså et behov for spisslast. Maksimal beregnet etterspørsel etter varme er på 1,12 MW.



Figur 9 Forbruksprofil for en tenkt situasjon med høyere energibehov.



Figur 10 Varighetskurve for en tenkt situasjon med høyere energibehov.

3.4.3. Støtteordninger

Pellets

Enova SF eies av Olje- og energidepartementet og har som formål å «drive frem en miljøvennlig omlegging av energibruk og energiproduksjon, samt bidra til utvikling av energi- og klimateknologi. Dette gjøres hovedsakelig gjennom økonomisk støtte og rådgivning» (Enova, 2014).

For varmesentraler vurderer Enova støttebehovet ut fra hver enkelt søknad, dog med en maksimal støtte på 1,00 kr/kWh fornybar varmeproduksjon. Det ytes bl.a. støtte til investeringer i varmesentraler og distribusjonsanlegg mellom ulike bygg og anlegg. Dette omfatter blant annet utstyr og anlegg for energitilførsel og –distribusjon, reservelast, aksehåndtering, røkgassanlegg, overføringsrør, regulering, drift og nødvendige bygg- og anleggsarbeider (Enova, 2014).

4. Resultater

4.1. Situasjon med nåværende energibehov

4.1.1. Oljekjeler, eksisterende

En simulering av referansescenariet i EnergyPRO gir følgende resultater:

Tabell 2 Produksjonsberegning for referansescenario med varmeproduksjon kun fra olje.

Energy conversion, monthly														
Calculated period:	01.2013 - 12.2013													
	Total	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	
Heat demand [MWh]	2805	457	393	445	281	124	80	44	58	125	201	290	308	
Energy unit: Oljekjeler														
Fuel consum. [MWh]	3295,9	537	462	523	330	145	94	52	69	147	236	340	362	
Heat prod. [MWh]	2805	457	393	445	281	124	80	44	58	125	201	290	308	
Turn ons	95	0	0	0	0	11	17	29	26	12	0	0	0	
Operating hours	7 942	744	672	744	720	659	607	424	514	650	744	720	744	
Full load operating hours	1402	228	197	222	140	62	40	22	29	63	100	145	154	
Fuel consumption: Olje														
Fuel consum. [MWh]	3295,9	537	462	523	330	145	94	52	69	147	236	340	362	
Peak [MW]	1,12	1,08	1,06	1,12	0,91	0,57	0,38	0,29	0,34	0,54	0,55	0,68	0,75	

Tabell 2 viser at oljekjelene dekker den årlige etterspørselen på 2805 MWh. Totalt innfyres 3295,9 MWh, tilsvarende 330 000 liter fyringsolje. Det produseres varme i 7 942 av årets 8 760 timer.

Årlige utslipp er videre vist i Tabell 3. CO₂-utslippene fra oljekjelen utgjør 878 tonn årlig, mens NO_x-utslippene er på 820 kg årlig.

Tabell 3 Utslippsberegning for referansescenario med varmeproduksjon kun fra olje.

CO2 (ton)	
Oljekjel	878
CO2 emissions Total	878
Nox emissions (kg)	
Oljekjel	820
NOx emissions Total	820

I Tabell 4 ser vi den månedlige kontantstrømmen knyttet til referansescenariet, totalt 3 192 000 kroner årlig. Brorparten av utgiftene, 3 092 000 kroner, knytter seg til innkjøp av fyringsolje, mens drift og vedlikehold beløper seg til 100 000 kroner årlig.

Tabell 4 Beregnet månedlig kontantstrøm for referansescenariet med varmeleveranse kun fra olje.

Cash Flow, monthly														
Calculated Period:	01.2013 - 12.2013													
(All amounts in 1000 NOK)														
	Total	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	
Revenues														
Total Revenues	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating Expenditures														
Fuel cost														
Olje	3 092	504	434	490	310	136	88	48	64	138	221	319	339	
Fuel cost Total	3 092	504	434	490	310	136	88	48	64	138	221	319	339	
Variable O&M costs														
O&M	100	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Variable O&M costs Total	100	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Investments														
Investments Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Operating Expenditures	3 192	512	442	498	318	145	97	57	73	146	229	327	348	
Net Cash from Operation	-3 192	-512	-442	-498	-318	-145	-97	-57	-73	-146	-229	-327	-348	
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Surplus	-3 192	-512	-442	-498	-318	-145	-97	-57	-73	-146	-229	-327	-348	
Cash Account	-3 192	-512	-954	-1 452	-1 770	-1 915	-2 011	-2 068	-2 141	-2 287	-2 516	-2 844	-3 192	

4.1.2. Pellets og olje

Tabell 5 Beregnet månedlig energiproduksjon fra referanseåret med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.

Energy conversion, monthly														
Calculated period:	01.2013 - 12.2013													
	Total	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	
Heat demand [MWh]	2 805	456,9	393,3	444,7	280,9	123,7	80	43,9	58,3	125,1	200,6	289,6	307,9	
Energy unit: Oljekjel														
Fuel consum. [MWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat prod. [MWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Full load operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy unit: Ny pelletskjel														
Fuel consum. [MWh]	3 116,40	507,6	437	494,1	312,1	137,4	88,9	48,8	64,7	139	222,9	321,7	342,1	
Heat prod. [MWh]	2 805	456,9	393,3	444,7	280,9	123,7	80	43,9	58,3	125,1	200,6	289,6	307,9	
Turn ons	95	0	0	0	0	11	17	29	26	12	0	0	0	
Operating hours	7 942	744	672	744	720	659	607	424	514	650	744	720	744	
Full load operating hours	2 805	457	393	445	281	124	80	44	58	125	201	290	308	
Fuel consumption: Pellets														
Fuel consum. [MWh]	3 116,40	507,6	437	494,1	312,1	137,4	88,9	48,8	64,7	139	222,9	321,7	342,1	
Peak [MW]	1,059	1,021	1,002	1,059	0,86	0,539	0,362	0,271	0,318	0,506	0,519	0,64	0,711	
Fuel consumption: Olje														
Fuel consum. [MWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak [MW]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 5 viser at pelletskjelen alene dekker den årlige etterspørselen på 2805 MWh. Totalt innfyres 3116,4 MWh pellets som grunnlast, tilsvarende mellom 836 og 1200 m³. Avhengig av energiinnholdet krever siloen da oppfylling fra en full bulkbil på 64 m³ inntil 19 ganger i løpet av året , og tre ganger i løpet av den mest kraftkrevende måneden, januar.

Det produseres varme i fra pellets 7942 av årets 8760 timer. Maksimal etterspørsel er lavere enn maksimal effekt fra varmesentralen, derfor produseres det ikke varme fra olje.

Ettersom pellets regnes som CO₂-nøytralt, er det ikke utslipp av klimagasser knyttet til dette scenariet.

I Tabell 6 ser vi den månedlige kontantstrømmen knyttet til scenariet med pellets som grunnlast og olje som spisslast. Fyringskostnaden kommer totalt på 1 094 000 kroner for året, alt knyttet til kjøp av pellets. I tillegg går 235 000 kroner med til drift og vedlikehold. Investeringskostnaden for nytt pelletsfyringsanlegg med tilhørende silo, røropplegg og installasjonskostnader vises som

en engangsutgift på 9 131 000 kroner, mens støttebeløpet fra Enova er oppført som en engangsinntekt på 2 805 000 kroner.

Tabell 6 Beregnede månedlige inntekter og utgifter i referanseåret med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.

Cash Flow, monthly														
Calculated Period:	01.2013 - 12.2013													
(All amounts in 1000 NOK)														
	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Revenues														
Støttebeløp Enova	2 805	2 805	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Revenues	2 805	2 805	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating Expenditures														
Fuel cost														
Pellets	1 094	178	153	173	110	48	31	17	23	49	78	113	120	
Olje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuel cost Total	1 094	178	153	173	110	48	31	17	23	49	78	113	120	
Variable O&M costs														
Pellets-kjel	235	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Variable O&M costs Total	235	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Investments														
Ny pellets-kjel, engangskostnad	9 131	9 131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investments Total	9 131	9 131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Operating Expenditures	10 460	9 329	173	193	129	68	51	37	42	68	98	133	140	
Net Cash from Operation	-7 655	-6 524	-173	-193	-129	-68	-51	-37	-42	-68	-98	-133	-140	
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Surplus	-7 655	-6 524	-173	-193	-129	-68	-51	-37	-42	-68	-98	-133	-140	
Cash Account	-7 655	-6 524	-6 697	-6 890	-7 019	-7 087	-7 138	-7 175	-7 217	-7 285	-7 383	-7 516	-7 656	

4.1.3. Pellets, varmelager og olje

Med forutsetningen om en flat virkningsgrad for alle laster på varmesentralen med pellets, gir løsningen med pellets og varmelager som grunnlast og olje som reserve- og spisslast identisk resultat som scenariet uten varmelager. Modellen velger å produsere varme synkronisert med etterspørselen, og varmen i akkumulatortanken ligger på maksimalt nivå til enhver tid.

4.2. Teoretisk situasjon med høyere energibehov

4.2.1. Oljekjeler, eksisterende

En simulering av referansescenariet i EnergyPRO gir resultatene vist i Tabell 7:

Tabell 7 Produksjonsberegning for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon kun fra olje.

Energy conversion, monthly														
Calculated period:	01.2013 - 12.2013													
	Total	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	
Heat demand [MWh]	3 300,0	537,5	462,8	523,2	330,5	145,5	94,2	51,6	68,6	147,2	236	340,7	362,3	
Energy unit: Oljekjeler														
Fuel consum. [MWh]	3 877,5	631,6	543,7	614,7	388,3	171	110,6	60,7	80,6	173	277,3	400,3	425,7	
Heat prod. [MWh]	3 300,0	537,5	462,8	523,2	330,5	145,5	94,2	51,6	68,6	147,2	236	340,7	362,3	
Turn ons	95	0	0	0	0	11	17	29	26	12	0	0	0	
Operating hours	7 942	744	672	744	720	659	607	424	514	650	744	720	744	
Full load operating hours	1 650	269	231	262	165	73	47	26	34	74	118	170	181	
Fuel consumption: Olje														
Fuel consum. [MWh]	3 877,5	631,6	543,7	614,7	388,3	171	110,6	60,7	80,6	173	277,3	400,3	425,7	
Peak [MW]	1,317	1,271	1,246	1,317	1,07	0,671	0,451	0,337	0,396	0,629	0,646	0,796	0,884	

Tabell 7 viser at oljekjelene dekker den årlige etterspørselen på 3300 MWh. Totalt innfyres 3877,5 MWh, tilsvarende 388 liter fyringsolje. Det produseres varme i 7942 av årets 8760 timer.

Årlige utslipp er videre vist i Tabell 8. CO₂-utslippene fra oljekjelen utgjør 1 033 tonn årlig, mens NO_x-utslippene er på 970 kg årlig.

Tabell 8 Utslippsberegning for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon kun fra olje.

CO2 (ton)		
Oljekjel		1033
CO2 emissions Total		1033
Nox emissions (kg)		
Oljekjel		970
NOx emissions Total		970

I Tabell 9 ser vi den månedlige kontantstrømmen knyttet til referansescenariet, totalt 3 737 000 kroner årlig. Brorparten av utgiftene, 3 637 000 kroner, knytter seg til innkjøp av fyringsolje, mens drift og vedlikehold beløper seg til 100 000 kroner årlig.

Tabell 9 Beregnet månedlig kontantstrøm for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon kun fra olje.

Cash Flow, monthly														
Calculated Period:	01.2013 - 12.2013													
(All amounts in 1000 NOK)														
	Total	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	
Revenues														
Total Revenues	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating Expenditures														
Fuel cost														
Olje	3 637	592	510	577	364	160	104	57	76	162	260	375	399	
Fuel cost Total	3 637	592	510	577	364	160	104	57	76	162	260	375	399	
Variable O&M costs														
O&M	100	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Variable O&M costs Total	100	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Investments														
Investments Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Operating Expenditures	3 737	601	518	585	373	169	112	65	84	171	268	384	408	
Net Cash from Operation	-3 737	-601	-518	-585	-373	-169	-112	-65	-84	-171	-268	-384	-408	
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Surplus	-3 737	-601	-518	-585	-373	-169	-112	-65	-84	-171	-268	-384	-408	
Cash Account	-3 737	-601	1 119	-1 704	-2 077	-2 245	-2 358	-2 423	-2 507	-2 677	-2 946	-3 329	-3 737	

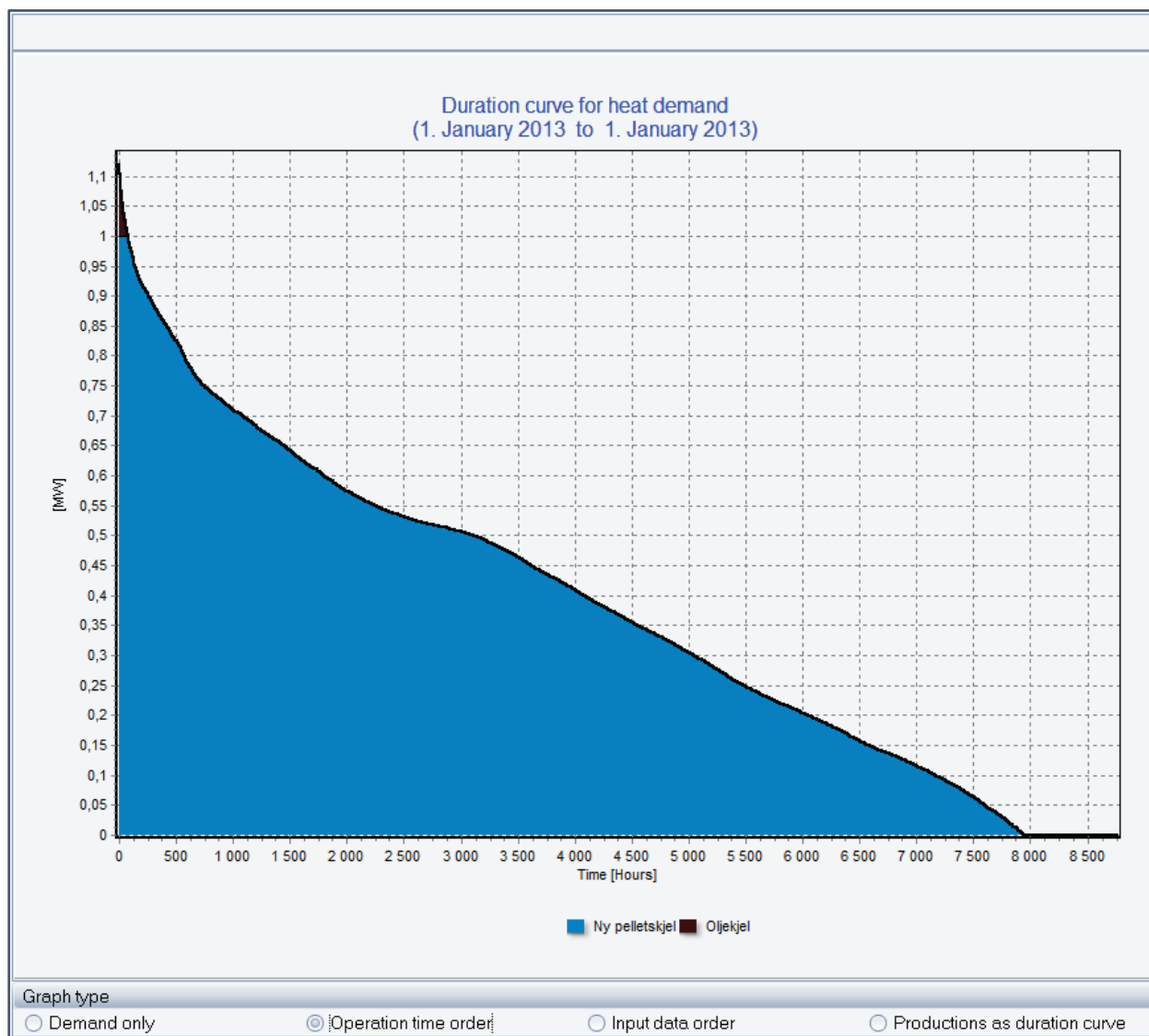
4.2.2. Pellets og olje

Tabell 10 Produksjonsberegning for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon med pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.

Energy conversion, monthly														
Calculated period:	01.2013 - 12.2013													
	Total	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	
Heat demand [MWh]	3 300,0	537,5	462,8	523,2	330,5	145,5	94,2	51,6	68,6	147,2	236	340,7	362,3	
Energy unit: Oljekjel														
Fuel consum. [MWh]	4,3	1,7	0,3	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat prod. [MWh]	3,6	1,4	0,3	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turn ons	16	7	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	79	42	10	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Full load operating hours	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy unit: Ny pelletskjel														
Fuel consum. [MWh]	3 662,3	595,6	513,8	579,1	367,2	161,7	104,6	57,4	76,2	163,5	262,2	378,5	402,5	
Heat prod. [MWh]	3 296,4	536,1	462,5	521,2	330,5	145,5	94,2	51,6	68,6	147,2	236	340,7	362,3	
Turn ons	95	0	0	0	0	11	17	29	26	12	0	0	0	
Operating hours	7 942	744	672	744	720	659	607	424	514	650	744	720	744	
Full load operating hours	3 296	536	462	521	330	146	94	52	69	147	236	341	362	
Fuel consumption: Pellets														
Fuel consum. [MWh]	3 662,3	595,6	513,8	579,1	367,2	161,7	104,6	57,4	76,2	163,5	262,2	378,5	402,5	
Peak [MW]	1,111	1,111	1,111	1,111	1,011	0,634	0,426	0,318	0,374	0,595	0,611	0,753	0,836	
Fuel consumption: Olje														
Fuel consum. [MWh]	4,3	1,7	0,3	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak [MW]	0,142	0,096	0,071	0,142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 10 og varighetskurven i Figur 11 viser at pelletskjelen sammen med oljekjelene dekker den årlige etterspørselen på 3 300 MWh. Totalt innfyres 3 662,3 MWh pellets som grunnlast og 4,3 MWh fyringsolje som spisslast. Avhengig av energiinnholdet i pelletsen tilsvarer dette mellom 983 og 1411 m³ pellets og 430 liter fyringsolje. Pelletssiloen krever da oppfylling inntil 22 ganger i løpet av året fra en full bulkbil på 64 m³, og inntil fire ganger i løpet av den mest kraftkrevende måneden, januar.

Det produseres varme i fra pellets 7 942 av årets 8 760 timer og spisslast fra olje i 79 timer.



Figur 11 Varighetskurve for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.

Årlige utslipp er vist i Tabell 11. Ettersom pellets regnes som CO₂-nøytralt, regnes kun utslipp fra oljen med her.

Tabell 11 Beregnede utslipp for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.

CO ₂ (ton)	
Oljekjel	1
CO ₂ emissions Total	1
Nox emissions (kg)	
Oljekjel	0
NO _x emissions Total	0

I Tabell 12 ser vi den månedlige kontantstrømmen knyttet til scenariet med pellets som grunnlast og olje som spisslast. Her ser vi at fyringskostnaden totalt kommer på 1 289 000 kroner for året, hvorav utgifter til pellets utgjør nesten hele beløpet. Kostnaden for fyringsolje utgjør 4 000 kroner. I tillegg går 235 000 kroner med til drift og vedlikehold. Investeringskostnaden for nytt pelletsfyringsanlegg med tilhørende silo, røropplegg og installasjonskostnader vises som en engangsutgift på 9 131 000 kroner, mens støttebeløpet fra Enova kommer som en engangsinntekt på 3 296 000 kroner.

Tabell 12 Beregnet kontantstrøm for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets som grunnlast og olje som spiss- og reservelast.

Cash Flow, monthly														
Calculated Period:	01.2013 - 12.2013													
(All amounts in 1000 NOK)														
	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Revenues														
Støttebeløp Enova	3 296	3 296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Revenues	3 296	3 296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating Expenditures														
Fuel cost														
Pellets	1 285	209	180	203	129	57	37	20	27	57	92	133	141	
Olje	4	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuel cost Total	1 289	211	180	205	129	57	37	20	27	57	92	133	141	
Variable O&M costs														
Pellets-kjel	235	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Variable O&M costs Total	235	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Investments														
Ny pellets-kjel, engangskostnad	9 131	9 131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investments Total	9 131	9 131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Operating Expenditures	10 656	9 362	200	225	149	77	57	40	47	77	112	153	161	
Net Cash from Operation	-7 364	-6 066	-200	-225	-149	-77	-57	-40	-47	-77	-112	-153	-161	
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Surplus	-7 364	-6 066	-200	-225	-149	-77	-57	-40	-47	-77	-112	-153	-161	
Cash Account	-7 364	-6 066	-6 266	-6 491	-6 640	-6 717	-6 774	-6 814	-6 861	-6 938	-7 050	-7 203	-7 364	

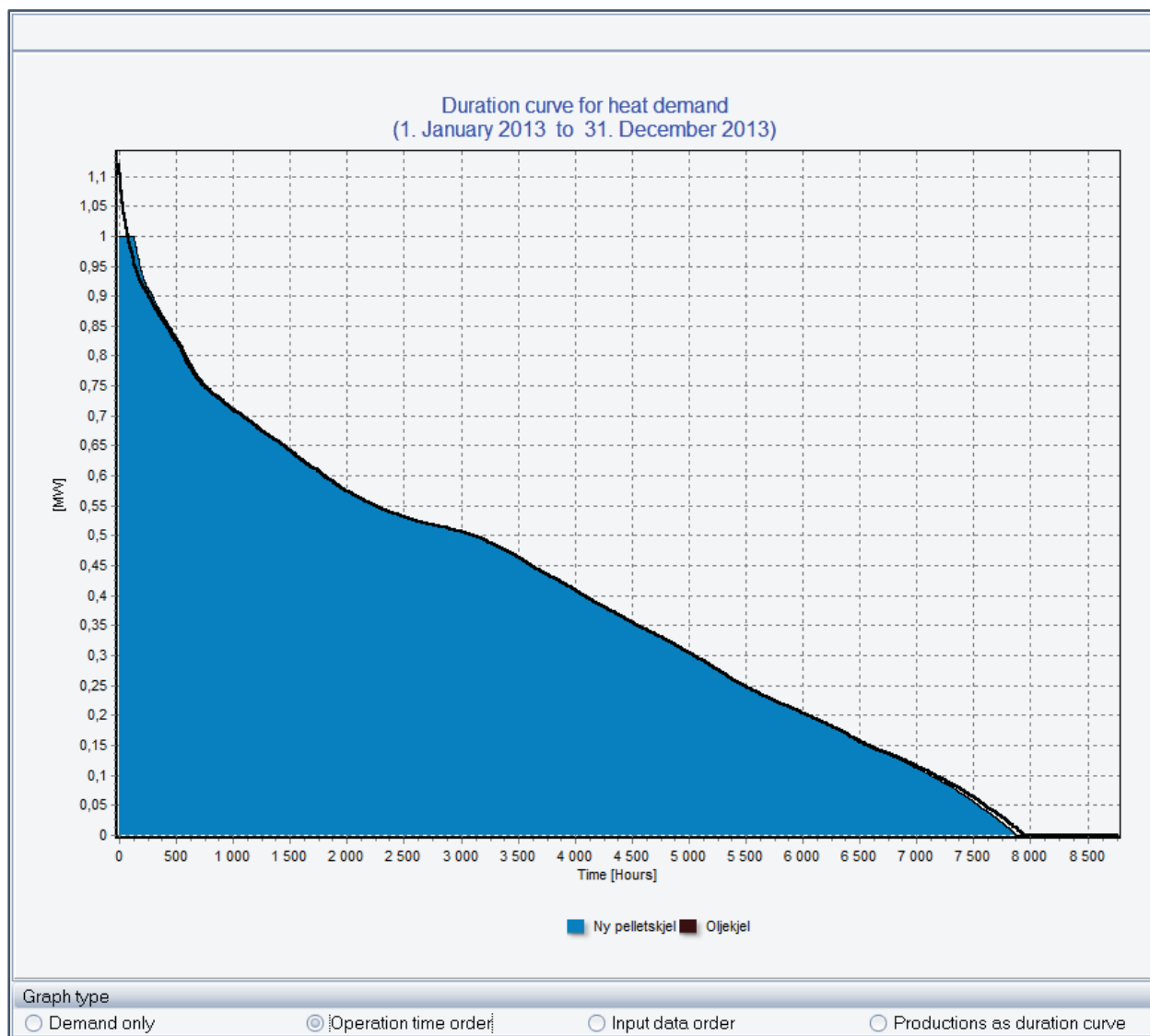
4.2.3. Pellets, varmelager og olje

Tabell 13 og varighetskurven i Figur 12 viser at pelletskjelen med varmelageret alene dekker den årlige etterspørselen på 3300 MWh. Totalt innfyres 3 666,3 MWh pellets. Avhengig av energiinnholdet tilsvarer dette mellom 984 og 1412 m³. Siloen må da fylles inntil 22 ganger i løpet av året av en full bulkbil på 64 m³, og fire ganger i løpet av den mest kraftkrevende måneden, januar.

Det produseres varme fra pellets i 7 939 av årets 8 760 timer og det er ingen drift på oljekjelene.

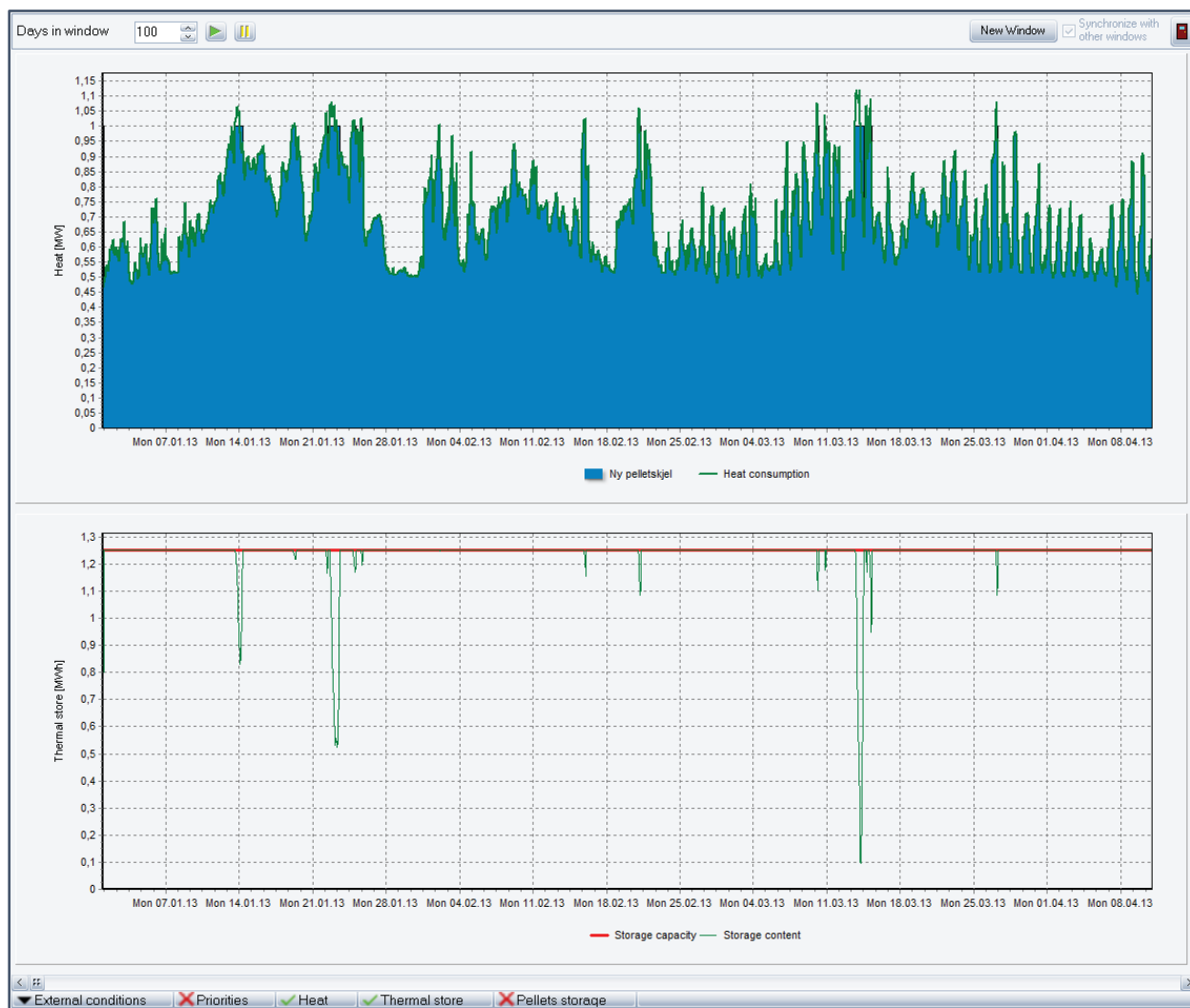
Tabell 13 Beregnet månedlig energiproduksjon for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.

Energy conversion, monthly														
Calculated period:	01.2013 - 12.2013													
	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Heat demand [MWh]	3 300,0	537,5	462,8	523,2	330,5	145,5	94,2	51,6	68,6	147,2	236	340,7	362,3	
Energy unit: Oljekjel														
Fuel consum. [MWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat prod. [MWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turn ons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Full load operating hours	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy unit: Ny pelletskjel														
Fuel consum. [MWh]	3 666,3	598,6	514,1	581,2	367,2	161,7	104,6	57,4	76,2	163,5	262,2	378,5	401,1	
Heat prod. [MWh]	3 300,0	538,8	462,8	523,2	330,5	145,5	94,2	51,6	68,6	147,2	236	340,7	361	
Turn ons	95	0	0	0	0	11	17	29	26	12	0	0	0	
Operating hours	7 939	744	672	744	720	659	607	424	514	650	744	720	741	
Full load operating hours	3 300	539	463	523	330	146	94	52	69	147	236	341	361	
Fuel consumption: Pellets														
Fuel consum. [MWh]	3 666,3	598,6	514,1	581,2	367,2	161,7	104,6	57,4	76,2	163,5	262,2	378,5	401,1	
Peak [MW]	1,111	1,111	1,111	1,111	1,011	0,634	0,426	0,318	0,374	0,595	0,611	0,753	0,836	
Fuel consumption: Olje														
Fuel consum. [MWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peak [MW]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

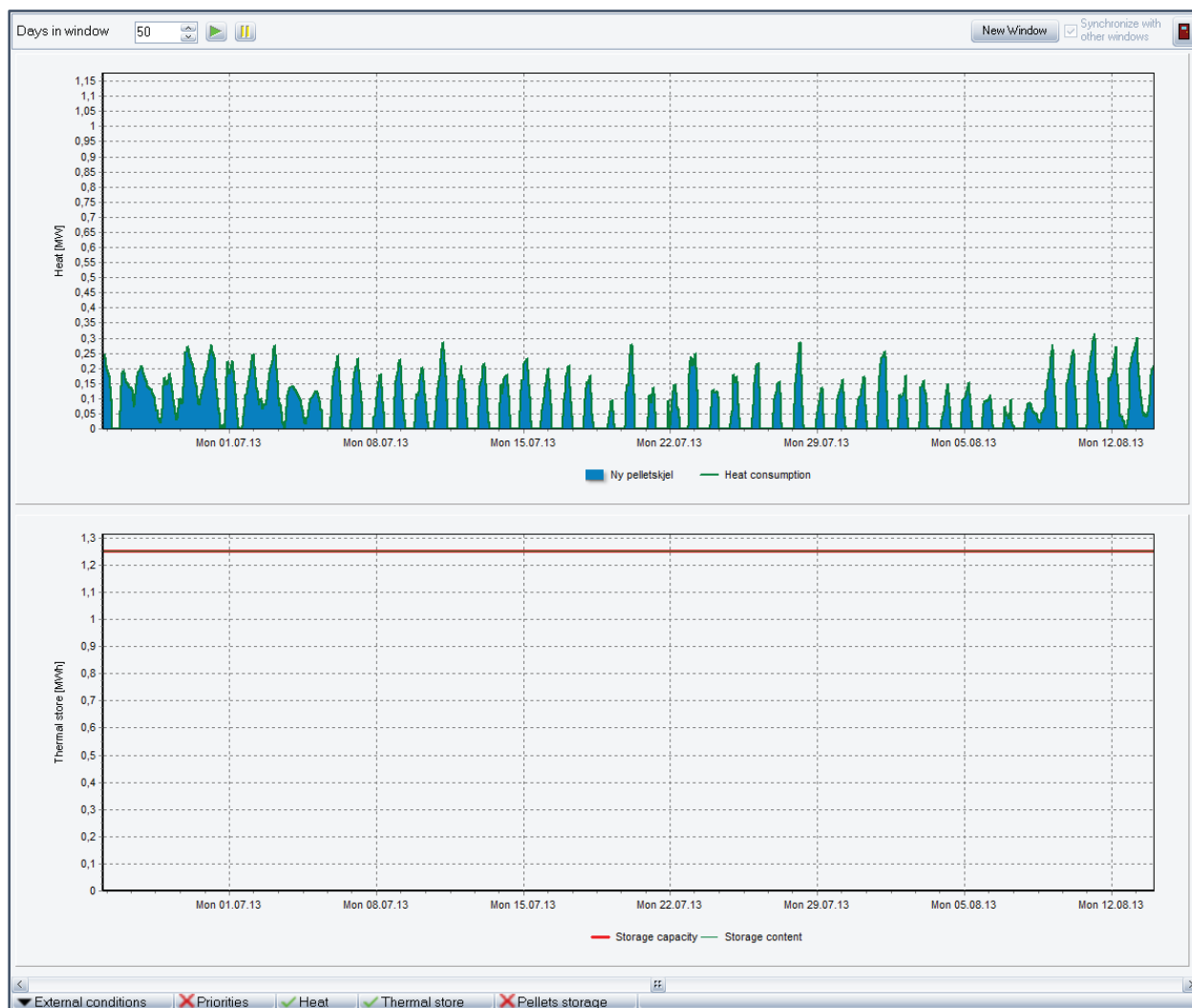


Figur 12 Varighetskurve for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.

I Figur 12 ser vi at driften av pelletskjelen er noe skjevt fordelt i forhold til etterspørselen ved høy og lav last. Som nevnt i kapittel 3.3.2. muliggjør et varmelager en viss forsinkelse mellom produsert og forbrukt varme. Pelletskjelen dekker her ikke nødvendigvis den spontane etterspørselen. Etterspurt varme leveres fra lageret som illustrert i Figur 8, mens pelletskjelen leverer varme til lageret. I Figur 13 ser vi hvordan varmelageret tappes når effektbehovet vinterstid er høyere enn produksjonen. Om sommeren produseres varme i takt med den spontane etterspørselen, som vist i Figur 14. Kjente effektkurver for dellast og en annen produksjonsstrategi vil kunne påvirke dette og vri produksjonen enda mer enn illustrert i Figur 12, Figur 13 og Figur 14. Dette diskuteres nærmere i kapittel 5.3.2.



Figur 13 Utsnitt av beregnet varmeproduksjon og endringer i lagerkapasitet for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast, vinter.



Figur 14 Utsnitt av beregnet varmeproduksjon og endringer i lagerkapasitet for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast, sommer.

Årlige utslipp er videre vist i Tabell 14. Ettersom pellets regnes som CO₂-nøytralt og det ikke er noen drift på oljefyren, har vi ikke noe utslipp fra dette scenariet.

Tabell 14 Beregnede utslipp for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.

CO2 (ton)	
Oljekjel	0
CO2 emissions Total	0
Nox emissions (kg)	
Oljekjel	0
NOx emissions Total	0

I Tabell 15 vises den beregnede månedlige kontantstrømmen knyttet til scenariet med pelletsfyringsanlegg med varmelager. Fyringskostnaden utelukkende kommer fra innkjøp av pellets, totalt 1 287 000 kroner for året. I tillegg går 235 000 kroner med til drift og vedlikehold. Investeringskostnaden for nytt pelletsfyringsanlegg med tilhørende silo, røropplegg og installasjonskostnader vises som en engangsutgift på 9 131 000 kroner, mens støttebeløpet fra Enova kommer som en engangsinntekt på 3 300 000 kroner.

Tabell 15 Beregnede månedlige inntekter og utgifter for et tenkt år med høyere energibehov og varmeproduksjon fra pellets til etterspørsel og lager, samt olje som reservelast.

Cash Flow, monthly														
Calculated Period:	01.2013 - 12.2013													
(All amounts in 1000 NOK)														
	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Revenues														
Støttebeløp Enova	3 300	3 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Revenues	3 300	3 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating Expenditures														
Fuel cost														
Pellets	1 287	210	180	204	129	57	37	20	27	57	92	133	141	
Olje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fuel cost Total	1 287	210	180	204	129	57	37	20	27	57	92	133	141	
Variable O&M costs														
Pellets-kjel	235	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Variable O&M costs Total	235	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Investments														
Ny pellets-kjel, engangskostnad	9 131	9 131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Investments Total	9 131	9 131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total Operating Expenditures	10 656	9 361	200	224	149	77	57	40	47	77	112	153	161	
Net Cash from Operation	-7 358	-6 061	-200	-224	-149	-77	-57	-40	-47	-77	-112	-153	-161	
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cash Surplus	-7 358	-6 061	-200	-224	-149	-77	-57	-40	-47	-77	-112	-153	-161	
Cash Account	-7 358	-6 061	-6 261	-6 485	-6 634	-6 711	-6 768	-6 808	-6 855	-6 932	-7 044	-7 197	-7 358	

5. Diskusjon

5.1. Oljekjeler, eksisterende

5.1.1. Økonomi

Nåværende løsning innebærer fyrings- og driftsutgifter på 3 192 000 kroner årlig. 97 % av utgiftene, 3 092 000 kroner, er rene fyringskostnader. Det alternative, teoretiske, scenariet med høyere etterspørsel innebærer fyringsutgifter på 3 637 000 kroner. Dette er en post som er langt høyere enn for alternativene, og opp mot tre ganger så høy som alternativet hvor pellets dekker hele varmebehovet og olje er reservelast. For begge scenariene gjelder en drifts- og vedlikeholdskostnad på 100 000 kroner.

3 192 000 kroner for 2805 MWh tilsvarer en energipris på ca 114 øre/kWh.

3 737 000 kroner for 3300 MWh tilsvarer en energipris på ca 113 øre/kWh.

5.1.2. Fleksibilitet

Borettslaget har i dag to fyrrom, med to oljekjeler i hver. Ut fra disse fordeles varmen ut til boliger og arealer som skal varmes opp. Varmeanleggene er fysisk adskilt av t-banen i området, og det er ikke utveksling av energi mellom dem. Dette kan være en sårbarhetsfaktor. I tilfeller hvor en av oljekjelene må tas ut av drift, må den andre i fyrrommet dekke opp for produksjonen fra den førstnevnte. Forutsatt at fyringsanlegget ikke er dimensjonert for å kunne levere all varmen fra kun én av oljekjelene i perioder med høy etterspørsel, vil dette kunne medføre problemer med å levere all etterspurt varme.

5.1.3. Miljø

Dagens løsning innebærer utslipp av 878 tonn CO₂ og 820 kg NO_x fra oljekjelene, det teoretiske scenariet gir beregninger på 1033 tonn CO₂ og 970 kg NO_x fra oljekjelene, nivåer som er langt høyere enn for noen av alternativene.

5.2. Pellets og olje

5.2.1. Økonomi

Dette scenariet anbefales av Boligenergi AS i deres rapport. Beregningene fra EnergyPRO viser at utgiftene i referanseåret fordeler seg på 1 094 000 kroner til pellets. I tillegg kommer drifts- og vedlikeholdskostnader på kr 235 000 kroner årlig og investeringskostnaden for varmeanlegget på 9 131 000 kroner. Tas støttebeløpet fra Enova på 2 805 000 med i beregningen, beløper den

samlede kontantstrømmen seg til totalt 7 655 000 kroner i minus. Forutsatt en fremtidig prisutvikling på innsatsmidler i takt med den generelle prisveksten i samfunnet, vil kostnadene for brensel, drift og vedlikehold i påfølgende år beløpe seg til 1 329 000 kroner årlig (2013-kroner).

Under disse forutsetningene vil tiltaket være lønnsomt etter 3,59 år, eller i overkant av tre år og seks måneder. Produksjon ut over dette vil gi en økonomisk gevinst og et overskudd for borettslaget i forhold til nåværende utgifter til oppvarming.

Det alternative scenariet medfører 1 285 000 kroner til pellets og 4000 kroner til fyringsolje. I tillegg kommer 235 000 kroner i drifts- og vedlikeholdskostnader og 9 131 000 kroner i investeringskostnader for et nytt oljefyringsanlegg ferdig oppført og klart til drift. Tar man støttebeløpet fra Enova på 3 296 000 kroner med i beregningen, beløper den samlede kontantstrømmen for det første året seg til 7 364 000 kroner i minus. Forutsatt at fremtidig prisutvikling på innsatsmidlene vil følge den generelle prisveksten i samfunnet, vil kostnadene for brensel, drift og vedlikehold i påfølgende år fra dette scenariet beløpe seg til 1 524 000 kroner årlig (2013-kroner).

Under disse forutsetningene vil tiltaket være lønnsomt etter 2,76 år, eller om lag to år og ni måneder. Produksjon ut over dette vil gi en økonomisk gevinst og et overskudd for borettslaget i forhold til nåværende utgifter til oppvarming.

Ettersom all energi ved dagens behov i dette scenariet leveres fra pelletsvarmesentralen, kan det tyde på at varmesentralen som er foreslått er noe for stor for borettslagets behov. En løsning med en effektmessig mindre varmesentral for leveranse av grunnlast bør vurderes i et scenario hvor investeringskostnaden sees i forhold til merkostnaden en mer aktiv bruk av spisslast innebærer.

1 329 000 kroner for 2805 MWh tilsvarer en energipris på ca. 47 øre/kWh.

1 524 000 kroner for 3300 MWh tilsvarer en energipris på ca. 46 øre/kWh.

5.2.2. Fleksibilitet

Dersom en av produksjonsenhetene faller ut for dagens løsning, vil det kunne innebære utfordringer, som nevnt i kapittel 5.1.2.

Dette scenariet innebærer at varmesløyfene på begge sider av t-banen forbindes. Dette alene vil styrke forsyningssikkerheten til borettslaget. I tillegg etableres en felles varmesentral, som alene vil kunne forsyne hele borettslaget med etterspurt varme. Alle fire eksisterende oljekjeler beholdes og én av disse vil alene kunne brukes til å levere spisslast. Ved et utfall av den nye varmesentralen, vil de fire oljefyrene kunne levere varme til pelletsfyren settes i drift igjen. Ved utfall av en av oljefyrene i en streng kuldeperiode med etterspørsel etter spisslast, vil en av de resterende oljefyrene kunne levere nødvendig varme.

Løsningen krever oppfølging i form av drift og vedlikehold. Økonomisk er dette tatt hensyn til i kapittel 5.2.1, men det må også påpekes at løsningen innebærer oppfølging i forhold til bestilling og mottak av pellets. Siloen må fylles av full bulkbil med 64 m³ kapasitet inntil 19 ganger i løpet av referanseåret, og hyppigst i den største kuldeperioden i januar, hvor den må fylles tre ganger alene. I det alternative scenariet med høyere forbruk må siloen fylles inntil 22 ganger i året, hvorav fire ganger i januar.

5.2.3. Miljø

Pellets er å anse som CO₂-nøytralt. De eneste utslippene knyttet til denne løsningen, er fra produksjon av varme fra oljefyrene, noe som innebærer et totalt utslipp av 1 tonn CO₂ for referanseåret. NOx-utslippene beregnes til 0. Totale utslipp fra denne løsningen vil da være i størrelsesorden 1 promille av utslippet for referansescenariet.

Visuelt blir det også en avveining å ta. Løsningen innebærer å plassere en container med varmesentralen og en silo ved snuplassen innerst i Gamlehagen. Dette er av logistikkmessige årsaker en hensiktsmessig plassering, da det forenkler adkomsten for tankbil med bulkleveranse av pellets. I dette området er det i dag en grønn lunge, med gressplen og trær. Løsningen kan muligens plasseres delvis bak trærne, slik at den til en viss grad skjermes fra veien. Det kan også leveres kledning til containeren, dette blir en tilleggskostnad. Noen beboere vil nok synes at dette vil bli et forstyrrende element i den grønne lungen, mens andre kan se på varmesentralen og siloen som et lite monument over skrittet fra oljeavhengighet og til en fornybar hverdag. Noe støy må også måtte påregnes i forbindelse med innblåsing av pellets til siloen.

5.3. Pellets, varmelager og olje

5.3.1. Økonomi

Som tidligere nevnt, er ikke kostnadene for varmelageret medregnet i modellen. Dagens energibehov overflødiggjør et varmelager.

Kostnadsbildet for den teoretiske løsningen med høyere forbruk er svært likt scenariet for alternativet med pellets og olje, *uten* varmelageret. Beregningene fra EnergyPRO viser at utgiftene i referanseåret fordeler seg på 1 287 000 kroner til pellets. I tillegg kommer 235 000 kroner i drifts- og vedlikeholdskostnader og 9 131 000 kroner i investeringskostnader for et nytt oljefyringsanlegg ferdig oppført og klart til drift. Tar man støttebeløpet fra Enova på 3 300 000 kroner med i beregningen, beløper den samlede kontantstrømmen for det første året seg til en utgift på 7 358 000 kroner. Forutsatt at fremtidig prisutvikling på innsatsmidlene vil følge den generelle prisveksten i samfunnet, vil kostnadene for brensel, drift og vedlikehold i påfølgende år fra dette scenariet beløpe seg til 1 522 000 kroner årlig (2013-kroner).

Under disse forutsetningene vil tiltaket være lønnsomt etter 2,76 år, eller om lag to år og ni måneder. Produksjon ut over dette vil gi en økonomisk gevinst og et overskudd for borettslaget i forhold til nåværende utgifter til oppvarming.

Uten at det er tatt hensyn til kostnader for varmelageret kommer altså løsningen med et varmelager svært likt ut i forhold til løsningen uten varmelager. Tas kostnader knyttet til en akkumulatortank med i beregningen, vil løsningen *med* et varmelager bli mer kostbar enn løsningen *uten*. Resultatene fra kapittel 4.1.3. og 4.2.3. kan tyde på at ved en svært høy etterspørsel med en mer effektiv utnyttelse av bufferkapasiteten som erstatning for spisslast fra olje kan et varmelager vise seg lønnsomt. Ut fra resultatene i de samme kapitlene regner jeg med at dette innebærer en etterspørsel som vil være langt høyere enn hva som er å anse som realistisk for borettslaget. En operasjonsstrategi som tar hensyn til faktisk effektkurve vil kunne innebære en annen og mer effektiv produksjonsprofil. Dette er videre beskrevet i kapittel 5.3.2.

Innsparingen antas likevel å være liten, og jeg anser det som lite sannsynlig at kostnadene vil bli så små at de kan forsvare investeringen. Derfor konkluderes det med at denne løsningen er mer kostbar enn scenariet uten varmelager. Hadde en reell kostnad knyttet til varmelageret blitt tatt med i analysen, antar jeg at denne ville underbygget denne påstanden ytterligere.

1 329 000 kroner for 2805 MWh tilsvarer en energipris på ca. 47 øre/kWh.

1 522 000 kroner for 3300 MWh tilsvarer en energipris på ca. 46 øre/kWh.

5.3.2. Fleksibilitet

Dette scenariet innebærer, som scenariet med pellets og olje, *uten* varmelager, at varmesløyfene på begge sider av t-banen forbindes. Dette er beskrevet i kapittel 5.2.2.

For forsyningssikkerhetens skyld anbefales det at eksisterende oljekjeler beholdes. Økonomisk er demontering av disse ikke medregnet, men også av forsyningssikkerhetsmessige årsaker bør de beholdes som reservelast. Da kan de overta varmeforsyningen om den nye varmesentralen eller en eventuell akkumulatortank skulle få et utfall eller må tas ut av drift i forbindelse med vedlikehold.

Løsningen krever oppfølging i form av drift og vedlikehold. Økonomisk er dette tatt hensyn til i kapittel 5.3.1, men det må også påpekes at løsningen innebærer oppfølging i forhold til bestilling og mottak av pellets. Siloen må fylles inntil 19 ganger i løpet av referanseåret, og hyppigst i den største kuldeperioden i januar, hvor den må fylles tre ganger alene. I det teoretiske året med høyere etterspørsel etter varme, vil det være behov for etterfylling inntil 22 ganger, og hyppigst fire ganger i løpet av januar måned.

Videre må det som tidligere nevnt påpekes at en operasjonsstrategi som hensyntar faktisk effektkurve med en sannsynlig lavere virkningsgrad for dellast, vil kunne gi et annet produksjonsbilde om sommeren enn vist i Figur 12. En kan for eksempel se for seg at varmen tappes fra varmelageret og at pelletskjelen går sjeldnere og på høyere last med høyere virkningsgrad for å fylle opp lageret med energi igjen i ettertids.

5.3.3. Miljø

Miljømessig er dette scenariet godt sammenlignbart med løsningen med pellets og olje, men uten varmelageret. Det er null utslipp knyttet til dette scenariet.

Det visuelle miljøet påvirkes noe mer enn løsningen med pellets og olje, men uten varmelageret. Her kreves et varmelager på minimum 30 m³, altså på størrelse med ytterligere en container. For å begrense anleggskostnadene, bør den plasseres på bakken i nærheten av varmesentralen, som totalt vil bli enda mer dominerende i den grønne lungen ved snuplassen innerst i Gamlehagen.

5.4. Andre forhold

I forbindelse med utarbeidelse av denne rapporten er noen forutsetninger gjort. Jeg vil påpeke at det kan være usikkerhet knyttet til innhenting av temperaturdata. Disse er hentet fra en database og interpolert for å finne temperaturer for Gamlehagen på Lambertseter utenfor Oslo. Måten dataene er innhentet og håndtert på er ikke kjent. Graddagskorrigeringen av temperaturdataene for utarbeidelse av forbruksprofilene gitt, samt utelufttemperaturen på 17°C som danner utgangspunkt for oppvarmingsbehovet er også faktorer det kan knytte seg noe usikkerhet til.

Videre er det svært mange faktorer som bidrar til å styre den fremtidige prisutviklingen på innsatsmidlene, som olje og pellets. En vridning i forholdet mellom disse prisene kan bidra til påvirke lønnsomhetsberegningene i denne rapporten i positiv eller negativ grad.

Det forutsettes også at en strukturell endring og oppgradering av eksisterende distribusjonsnett for varmen som beskrevet i kapittel 3.2 ikke er økonomisk lønnsom.

Det legges til grunn i rapporten at de eksisterende oljekjelene faktisk dekker den spontane effektetterspørselen i varmesystemet.

Det foreligger ikke verdier for virkningsgrader for dellast, verken for oljekjelene eller for pelletsvarmesentralen. Derfor er det brukt flat virkningsgrad for alle effektuttak fra teknologiene i beregningene. Det foreligger heller ikke verdier for et minimum antall driftstimer hver oppstart for teknologiene. Det er rimelig å anta at innføring av realistiske virkningsgradskurver, samt verdier for minste drift av teknologiene vil medføre en vridning av produksjonsprofilene og kanskje til og med øke lønnsomheten for et varmelager.

6. Konklusjon

Informasjonen som foreligger og resultatene for både økonomi, fleksibilitet og miljø presentert i kapittel 4 og 5 tyder på at innkjøp av en varmesentral med pellets, dog uten akkumulatortank for varme er å anbefale. Dagens situasjon innebærer ut fra disse forutsetningene energileveranse kun fra pelletsvarmesentralen i alle årets timer hvor det leveres varme. Resultatene tyder likevel på at en økning i den årlige etterspørselen eller periodevise kuldeperioder innebærer perioder med en etterspurt effekt på over 1 MW vil medføre et behov for spisslast.

LIN-KA Maskinfabrik A/S, som produserer varmesentralen vurdert her, leverer tilsvarende varmesentraler med effekt ned til 400 kW. Med en varmesentral med lavere maksimal effekt behovet for spisslast melde seg oftere gjennom året. Forutsatt at en mindre varmesentral innebærer en lavere investeringskostnad, anbefales det å utrede lønnsomheten i dette alternativet videre.

Både som dekning for spisslast og som reservelast ved et utfall av effekt fra pelletsvarmesentralen, anbefales det uansett at de eksisterende oljekjelene ikke demonteres, men beholdes som beredskap.

7. Referanser

- Boligenergi AS. (2014, Mars 15). *Boligenergi.no*. Hentet fra Boligenergi.no: <http://www.boligenergi.no>
- Brekke-Jakobsen, M. (2014, Mai 6.). Rådgiver, Enova. (C. Høy, Intervjuer)
- DSB. (2014, mars 15). *Regelverk / Oppslagsverk*. Hentet fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og Beredskap: <http://www.dsb.no/no/Rettskilder/Regelverk/Oppslagsverket/4360/4361/4362/4680/?c=102>
- Enova. (2014, april 5). *Formål*. Hentet fra Enova: <http://www.enova.no/om-enova/36/0/>
- Enova. (2014, april 18). *Program varmesentraler utvidet*.
- Hafslund AS. (2012). *Årsrapport 2012*. Hafslund AS.
- Hafslund AS. (2013). *Årsrapport 2013*. Hafslund AS.
- Hafslund Varme AS. (2014, mars 15). *Fjernvarme i Oslo*. Hentet fra Hafslund Varme AS: <http://www.hafslund.no/fjernvarme/fjernvarmenettet/3070>
- KLIF. (2014, april 5). *Oppvarming av boligbygg*. Hentet fra Miljødirektoratet: <http://co2.klif.no/en/-HOVEDMENY-/Slik-beregnes-dine-utslipp/Oppvarming-av-boligbygg/>
- Larsen, Claus M. (2014, Mai 6). LIN-KA AS. (C. Høy, Intervjuer)
- LIN-KA AS. (2014). *Mobilanlæg - Fulldautomatiske fyringsanlæg 400-3000kW*. LIN-KA Maskinfabrik A/S.
- NOBIO. (2012). *Bioenergi i Norge. Markedsrapport Pellets og briketter*. Norsk Bioenergiforening.
- Nord Pool Spot. (2014, April 18). *Elspotpriser med timesoppløsning, 2013. Oslo*. Hentet fra Nord Pool Spot: <http://www.nordpoolspot.com/>
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2011). *Kostnader ved produksjon av kraft og varme. Håndbok*. (K. Hofstad, Red.)

Oslo kommune. (2014, april 6). *Fjernvarme*. Hentet fra Klima- og energifondet:
<http://www.enoketaten.oslo.kommune.no/article120504-5667.html>

Schjølberg, Martin; Boligenergi AS. (2013). *Kartlegging og vurdering av bioanlegg*. Oslo:
Boligenergi AS.

Statoil. (2014, Mai 9). *Statoil.no*. Hentet fra Priser Fyringsprodukter:
https://www.statoil.no/cs/Satellite?c=Page&childpagename=NO1%2FLayout&cid=1334073964793&p=1334073964793&packedargs=lang%3Dno_NO%26site%3DNO1&pagename=NO1Wrapper

Transportør Jørgensen AS. (2014, April 3). *Jørgensen Sug- blåsetank*. Hentet fra Jørgensen AS:
<http://www.jorgensenas.no/index.php/salgsvare/suge-blaasetank/>



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no